ENDEAVOUR

Revue trimestrielle publiée en cinq langues et destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain

VOLUME XIX Juillet 1960 NUMÉRO 75

SOMMAIRE

070.432:92:54
Article de Tête: Thomas Beddoes (1760–1808) 123

591.481.12:591.147.4/.5
Le système neurosécréteur du diencéphale — W. BARGMANN, Dr. Med. — 125

546.18.17
Les dérivés phosphonitriliques — N. L. PADDOCK, B.A. — 134

551.578.9:552.6
L'accroissement de la matière cosmique sur la Terre — H. PETTERSSON — 142

634.1/.2:581.16
La culture de variétés nouvelles d'arbres fruitiers — W. WILLIAMS, M.Sc., et A. G. BROWN — 147

591.473:595.44
Mécanismes hydrauliques chez les araignées — D. A. PARRY, Ph.D. — 156

539.14
La structure du noyau — J. HAMILTON, M.A., Ph.D. — 163

049.3
Revue des livres 171

Brèves notices bibliographiques 175

Note bibliographiques sur les collaborateurs 176

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Rédacteurs adjoints: G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E. (*Pour les éditions étrangères*)
W. A. OSMAN, B.Sc., M.Sc., A.R.C.S.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Thomas Beddoes (1760–1808)

Il n'est pas rare que l'élève surpasse le professeur; mais parfois la renommée du disciple fait injustement oublier le mérite du maître. Tel a été le cas de Thomas Beddoes auquel le jeune Humphry Davy dut beaucoup de ce qu'il avait appris pendant ses années d'apprentissage. Bien que de courte durée, le passage de Davy au poste de Surintendant de l'Institut de Pneumatique médicale de Clifton (Bristol), fut une étape importante de sa carrière. «Ce poste, écrit son frère John, s'il avait été créé tout exprès pour lui, n'aurait pas été mieux adapté à son génie particulier, ni plus apte à mettre en jeu et développer ses facultés intellectuelles.» On a dit avec vérité que Davy avait été la plus grande découverte de Beddoes, mais celui-ci était, néanmoins, un personnage important à son époque, porté vers le progrès alors qu'il y avait danger à l'être, et réputé dans les lettres autant qu'en sciences et en médecine. Il semble, en fait, que c'est la variété même de ses talents qui l'a privé d'une gloire plus durable. Dans l'estimation de Davy lui-même, Beddoes avait des dons qui auraient fait de lui une sommité scientifique, s'il s'en était servi judicieusement.

Né dans le Shropshire il y a deux siècles, il fut admis à seize ans à *Pembroke College* (Oxford) où, en plus de ses études classiques, il apprit par lui-même le français, l'allemand et l'italien et s'intéressa à la botanique, la minéralogie et la chimie. En peu d'années il se familiarisa avec la manipulation des gaz — des «airs» comme on les appelait — et à leur chimie. Il devait par la suite utiliser ces connaissances pour l'étude des emplois médicaux des gaz. Toutefois, dès 1779, il avait abandonné la chimie au profit de la médecine et deux ans après il se rendit à Londres pour étudier l'anatomie sous la direction de John Sheldon. Il acheva ses études médicales à Edimbourg où il séjourna jusqu'à l'été de 1787.

Bientôt d'autres domaines le sollicitèrent: une traduction des *Dissertazioni* de Spallanzani (1729–1799), auteur peu connu alors en Angleterre, marque le début de son œuvre littéraire. Il publie aussi des traductions d'ouvrages chimiques de Tobern Bergman (1735–84) et de Scheele (1742–86). Fin 1787, il voyage en Europe. Manifestement revenu vers la chimie, il rend visite à Lavoisier et se lie d'amitié avec Guyton de Morveau. De retour à Oxford — dont le diplôme de docteur en médecine lui a été conféré en 1786 — il y est nommé Chargé de cours de chimie en 1788, sans rémunération autre que les émoluments reçus des étudiants qui assistent de leur propre gré à ses cours; et l'affluence y est nombreuse: la plus nombreuse depuis le XIIIe siècle, au dire de Beddoes lui-même.

C'est, il est vrai, l'époque où la chimie est en pleine révolution, avec le rejet de la théorie du phlogistique. Les écrits de Beddoes reflètent les changements survenus dans les idées de l'auteur: dans ses traductions de Bergman et de Scheele, il fait sienne la théorie de Stahl sur le phlogistique et, en 1789, il vante dans une lettre à Higgins, les récentes expériences de Priestley «qui ont rétabli l'existence du phlogistique». L'année suivante il publie, sous le titre *Chemical Experiments and Opinions extracted from a Work published in the Last Century*, un exposé des travaux et des théories d'un chimiste alors méconnu: John Mayow (1641–79). Ce livre suscite un intérêt considérable et aussi des controverses entre Beddoes et certains chimistes français, Fourcroy notamment. Selon Beddoes, Mayow avait clairement énoncé la théorie du phlogistique qui avait donné à Stahl une telle célébrité. En tous cas, la question de priorité dans la formulation de la théorie du phlogistique avait, dès novembre 1791, perdu tout intérêt, car Beddoes s'était rallié à la théorie de Lavoisier.

Le cercle des amis de Beddoes dépassait largement les limites d'Oxford et comprenait certains de ses contemporains les plus distingués, y-compris plusieurs membres de la Société Lunaire de Birmingham, ainsi nommée parce que les physiciens qui la constituaient se réunissaient à l'époque de la pleine lune pour éviter de rentrer chez eux dans l'obscurité. Parmi eux figuraient Joseph Priestley, Erasmus Darwin, les Wedgwood, William Withering, Matthew Boulton et James Watt. Par l'intermédiaire de Benjamin Franklin la Société Lunaire avait des relations amicales avec les révolutionnaires américains et français, circonstance qui causa des ennuis à plusieurs de ses membres. C'est un banquet organisé par James Keir, un chimiste industriel, en honneur du deuxième anniversaire de la prise de la Bastille, qui provoqua l'émeute au cours de laquelle on détruisit la maison de Priestley. Pendant les grandes vacances de 1792 Beddoes fit circuler un pamphlet favorable à la Révolution Française, qui mécontenta bon nombre de ses collègues d'Oxford, après quoi il se démit de ses fonctions et quitta l'Université.

Installé comme médecin à Clifton, il s'y constitua une clientèle à force de travail, tout en continuant à écrire. Il reprit en même temps son étude des emplois médicaux des gaz, de l'oxygène notamment, de l'air fixe (anhydride carbonique) et du gaz d'eau (hydrocarbonate). En 1794 parurent ses *Considerations on the Medical Use of Factitious Airs and on the Manner of obtaining them in Large Quantities*, en deux parties: l'une rédigée par Beddoes et l'autre par James Watt, son collaborateur dans la construction d'appareils pneumatiques. Il y expose de façon plus détaillée son projet ambitieux de création d'un institut de pneumatique médicale où les airs seraient administrés aux malades par un gérant, sous contrôle médical. Le poste de gérant fut occupé par le jeune Humphry Davy en octobre 1798, année où, grâce à la générosité de Thomas Wedgwood et d'autres amis de Beddoes, dont le chimiste irlandais Richard Kirwan, l'Institut devint une réalité.

Cette nomination à Clifton représentait une étape importante dans la carrière de Davy, alors petit apprenti-pharmacien. Il l'obtint par l'intermédiaire d'amis de Beddoes, Davies Fields notamment, riche propriétaire qui par la suite devint, sous le nom Davies Gilbert, Président de la *Royal Society*. Une autre circonstance propice fut que le fils cadet de James Watt, Gregory, en séjour chez la veuve Davy, mère de Humphry, s'était pris d'amitié pour celui-ci. Il n'est donc pas surprenant que Davy se soit adressé à Beddoes quand il voulut obtenir une opinion autorisée sur son mémoire sur la nature de la chaleur et de la lumière *On the Nature of Heat and Light* et sur ses premières expériences chimiques. Beddoes apprécia hautement les travaux du jeune homme dont il publia le premier mémoire scientifique dans *Contribution to Physical and Medical Knowledge mainly from the West of England*.

Davy trouva qu'au premier abord Beddoes avait une certaine brusquerie, mais qu'il pouvait être très affable envers ceux qui lui étaient sympathiques. «Le Docteur Beddoes, dit-il dans sa première lettre à sa mère, est étonnamment court et gros; ses manières sont peu élégantes et rien dans son extérieur ne révèle le génie scientifique.» Et quelques semaines après: «Je me sens chez moi dans la famille, et plus je les connais plus je les aime.» Il reprit, sous la direction de Beddoes, ses travaux sur le protoxyde d'azote, et, comme de juste, étudia les effets de ce gaz. C'est en avril 1799 qu'il en aspira suffisamment pour en sentir les effets, et il put en apprécier l'action anesthésique lors de l'apparition douloureuse de ses propres dents de sagesse. C'est dommage que les incalculables possibilités médicales de ces observations furent alors négligées au profit de l'exploitation populaire de l'action exhilarante du gaz, que Beddoes encouragea en raison de la réclame que cela faisait pour son Institut. Toutefois, Davy ne tarda pas à s'adonner à la nouvelle science du galvanisme. Beddoes s'y était intéressé quelque temps et avait construit des piles voltaïques pour son usage personnel. Davy se construisit une pile et s'en servit pour des observations importantes qui font l'objet de mémoires publiés dans le *Nicholson's Journal*.

Beddoes n'exerça pas son influence sur Davy seulement en l'aidant et en l'encourageant dans ses expériences chimiques. Les sciences n'étaient d'ailleurs pas la préoccupation dominante de ses nombreux amis de Clifton, bien que l'un de ceux-ci, R. L. Edgeworth, savant amateur éclairé, eût contribué à apaiser l'hostilité des gens du pays à l'égard des manipulations de gaz «dangereux». Beddoes épousa en 1794 une des filles d'Edgeworth, Anna, sœur de Maria, la romancière. Le poète Thomas Lovell Beddoes fut leur fils aîné. La maison de Beddoes, à Clifton, devint le point de ralliement des lettrés de l'endroit, notamment les poètes Southey, Coleridge et Wordsworth. Davy les rencontra tous et il put donner libre cours à son tempérament poétique dans le poème *The Sons of Genius* publié dans l'*Annual Anthology* de Southey. Davy ne passa que seize mois à Clifton avant de partir pour Londres prendre le poste de Directeur du Laboratoire de la *Royal Institution* récemment fondée; mais cette fréquentation lui facilita sans aucun doute la transition entre l'existence humble de Penzance et la vie de la société élégante de Londres.

Après le départ de Davy, l'Institut pneumatique commença à péricliter; deux ans plus tard les «cures pneumatiques» étaient abandonnées et, en définitive, on installa dans le local une clinique de médecine préventive. Bien qu'il n'eût à son actif aucune œuvre scientifique durable, l'importance de l'Institut consiste en ce qu'il a été le premier des instituts de recherche aujourd'hui si répandus. Beddoes alla aussi s'installer à Londres et y poursuivit avec succès sa carrière médicale. Il mourut le 24 décembre 1808.

Le système neurosécréteur du diencéphale

par W. BARGMANN

Cet article décrit les cellules neurosécrétrices du diencéphale dont les diverses fonctions comprennent la régulation de la rétention de l'eau, de la pression sanguine, des contractions musculaires de l'utérus et de l'émission de lait par la glande mammaire. Il discute aussi la manière dont ce système peut influencer l'activité du lobe antérieur de l'hypophyse. Mis à part son intérêt général en physiologie et en biochimie, le système neurosécréteur du diencéphale présente une importance pratique en relation avec le diabète insipide.

Il y a environ 70 ans on ne savait encore pratiquement rien de la fonction d'une partie du cerveau, dénommée par Galien *hypophysis cerebri*. Aujourd'hui tout étudiant en biologie ou en médecine sait que l'hypophyse ou glande pituitaire, divisée en lobes antérieur, moyen et postérieur, est un organe endocrine complexe possédant un nombre surprenant d'activités clairement identifiées. Par exemple, l'hypophyse produit des hormones qui contrôlent l'activité des autres glandes endocrines comme la thyroïde, les glandes surrénales et le corps jaune de l'ovaire.

Jusqu'à ces derniers temps, un caractère particulièrement intrigant de l'hypophyse était que, malgré la possibilité d'extraire des hormones de son lobe postérieur, la neuro-hypophyse, ce lobe ne contient pas de cellules présentant les caractères morphologiques de cellules sécrétrices, comme on en trouve en grand nombre dans le lobe antérieur. On a extrait jusqu'ici deux hormones du lobe postérieur: la vasopressine et l'ocytocine; toutes deux sont des octopeptides à configurations analogues. La vasopressine réduit l'émission d'urine et ainsi garantit l'organisme contre une perte d'eau excessive; elle provoque aussi une augmentation de la pression sanguine. On a montré expérimentalement que le lobe postérieur influe sur la rétention d'eau, chez des représentants de toutes les classes de vertébrés [18]. L'ocytocine produit la contraction des muscles lisses de l'utérus et aussi des cellules contractiles de la glande mammaire; elle provoque ainsi l'émission de lait chez l'animal en lactation.

Comme nous l'avons dit, le lobe postérieur de l'hypophyse ne contient pas de cellules glandulaires typiques comme on en trouve dans les autres glandes endocrines. L'examen microscopique de préparations de neuro-hypophyse révèle un feutrage très dense de minces fibres nerveuses, près des parois des capillaires. On peut aussi y voir des cellules gliales, non nerveuses, ramifiées, appelées pituicytes. On doit considérer ces cellules, ainsi que les fibres nerveuses, comme des sources possibles d'hormones. Il n'y a aucune vérification de l'affirmation que des cultures de cellules du lobe postérieur dans lesquelles les pituicytes se multiplient abondamment, produisent une substance à effet antidiurétique [21]. L'intérêt des chercheurs s'est donc concentré sur le réseau nerveux du lobe postérieur comme la source la plus probable de la vasopressine et de l'ocytocine.

Toute théorie qui cherche à établir une origine neurale pour les hormones du lobe postérieur doit établir:

(1) d'où partent les fibres nerveuses qui se terminent dans le lobe postérieur et

(2) si ces fibres sont clairement différenciées, fonctionnellement et morphologiquement, des autres fibres nerveuses.

Dès 1899, Cajal a mis en évidence que les minces fibres nerveuses de la neurohypophyse sont des prolongements de neurones du diencéphale répartis dans des groupes cellulaires variés en arrière du chiasma optique. Suivant nos connaissances actuelles, ces fibres proviennent de deux noyaux de l'hypothalamus, les noyaux supraoptique et paraventriculaire (figure 13). Chez les vertébrés inférieurs ces noyaux sont représentés par un noyau unique préoptique. De plus, de courtes fibres nerveuses s'étendent dans le lobe postérieur, à partir de noyaux situés dans une saillie du plancher du diencéphale, connus sous le nom de noyaux tubéraux.

La présence de granules et de gouttes colloïdes dans le cytoplasme a été reconnue depuis longtemps comme un trait caractéristique de la région périnucléaire des noyaux supraoptique et paraventriculaire (ou préoptique) [39]. Ce-inclusions cellulaires indiquent une activité sécrétrice qui a conduit au terme de «cellules nerveuses

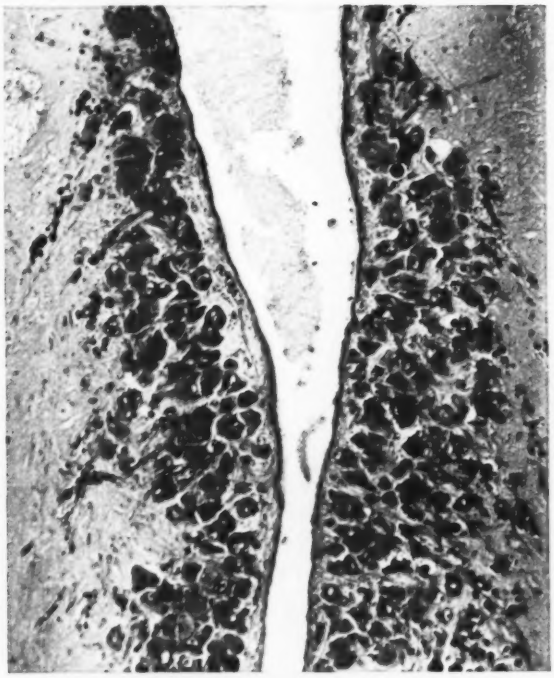


FIGURE 1 – *Noyau préoptique d'un poisson téléostéen* (Gadus virens), *montrant les gouttelettes colloïdes (noires). Coupe transversale du diencéphale dans la région centrale du ventricule. Coloration: hématoxyline à l'alun de chrome.* (× *approx.* 100)

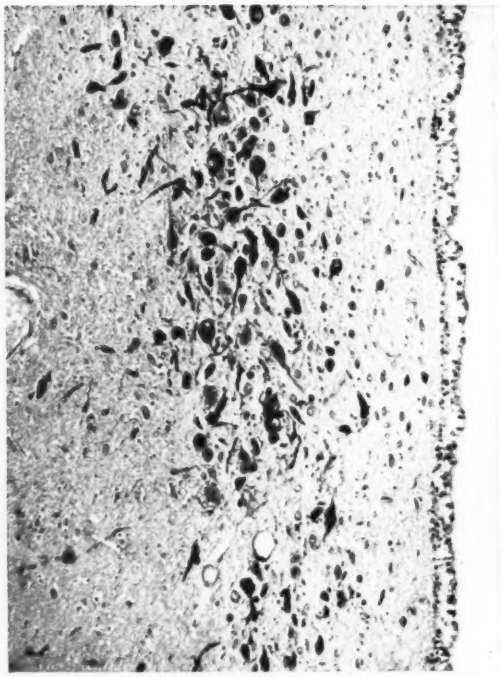


FIGURE 2 – *Coupe frontale dans le noyau paraventriculaire d'un chien, montrant les cellules nerveuses contenant la neurosécrétion (en noir). A droite, le troisième ventricule. Coloration: hématoxyline à l'alun de chrome.* (× *approx.* 100)

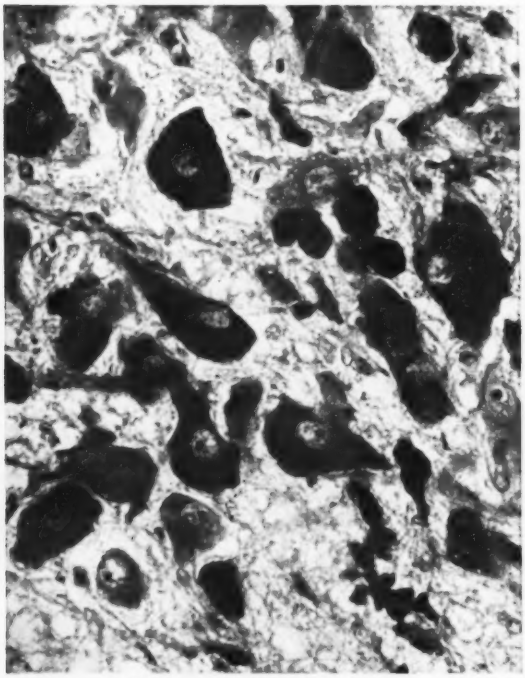


FIGURE 3 – *Groupe de cellules nerveuses dans le noyau supraoptique d'un chien, montrant la neurosécrétion (en noir). Coloration: hématoxyline à l'alun de chrome.* (× *approx.* 500)

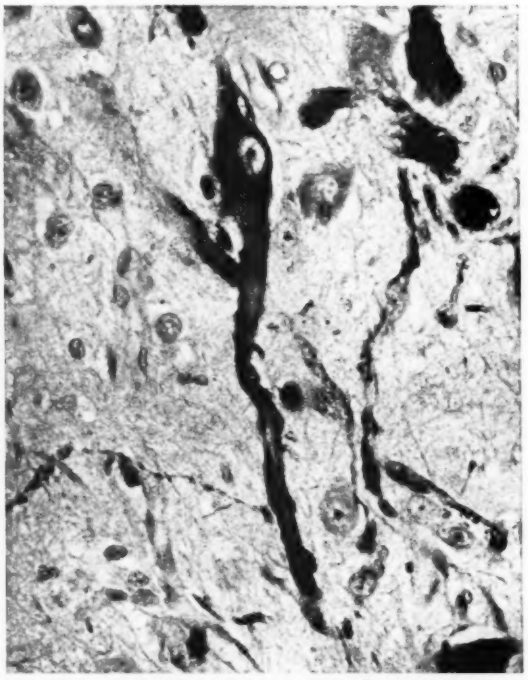


FIGURE 4 – *Cellule nerveuse contenant la neurosécrétion et montrant cette sécrétion dans un prolongement, tirée du noyau supraoptique d'un chien. Coloration et grossissement cf. figure* 3.

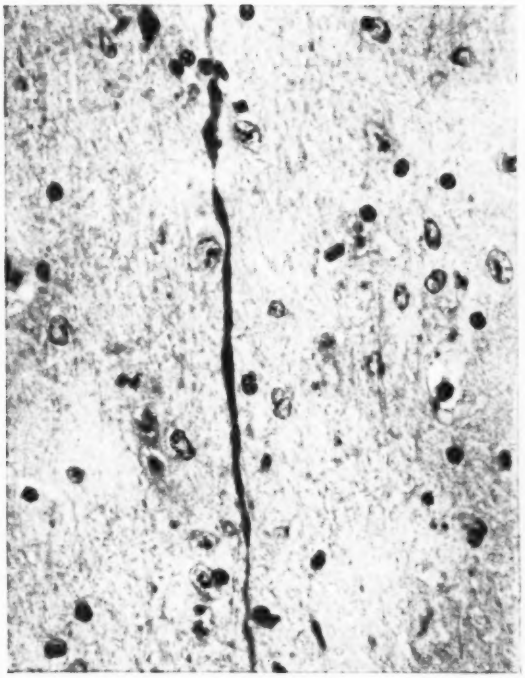


FIGURE 5 – *Fibre nerveuse unique avec neurosécrétion du diencéphale d'un chien. Coloration et grossissement cf. figure 3.*

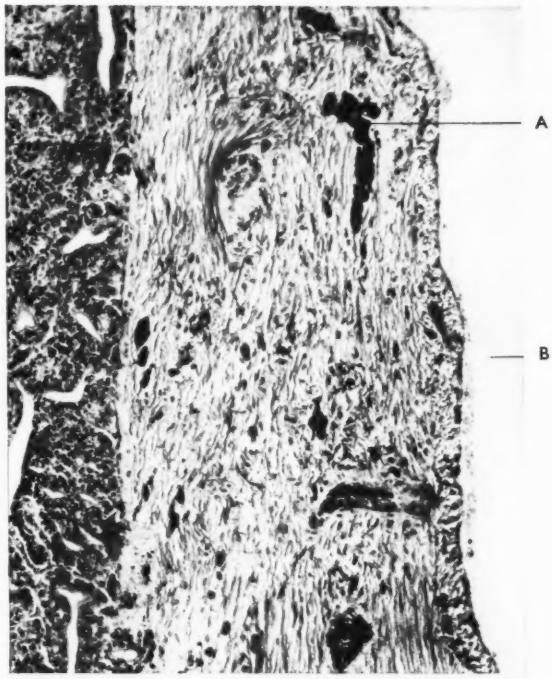


FIGURE 6 – *Fibres nerveuses parallèles contenant la sécrétion (A) de la voie neurosécrétrice de la tige pituitaire d'un chien. A gauche, partie de l'adénohypophyse; à droite, le ventricule (B). Les renflements des fibres sécrétrices apparaissent en noir. Coloration et grossissement cf. figure 2.*

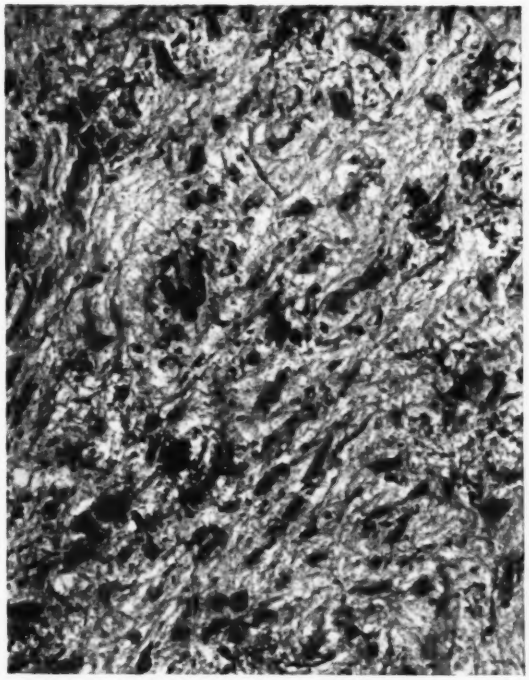


FIGURE 7 – *Lobe postérieur de l'hypophyse d'un chien montrant de petits granules de neurosécrétion (en noir). La neurosécrétion paraît claire. Coloration: hématoxyline à l'alun de chrome.* (× *approx.* 480)

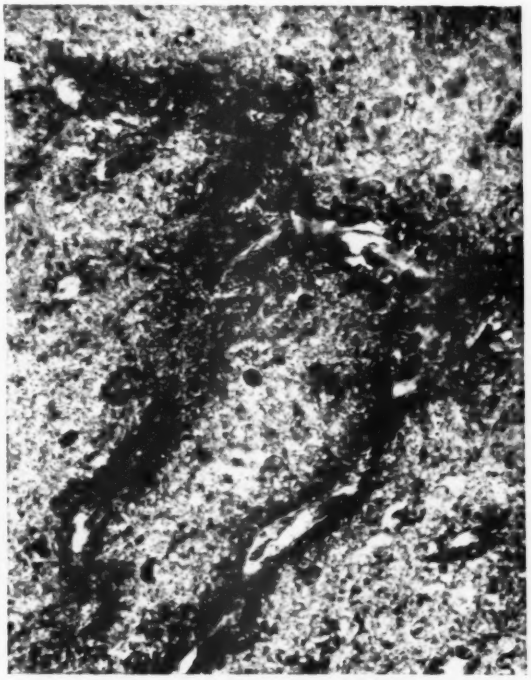


FIGURE 8 – *Lobe postérieur de l'hypophyse d'un chat, montrant une concentration de neurosécrétion dans les capillaires. Coloration et grossissement cf. figure 7.*

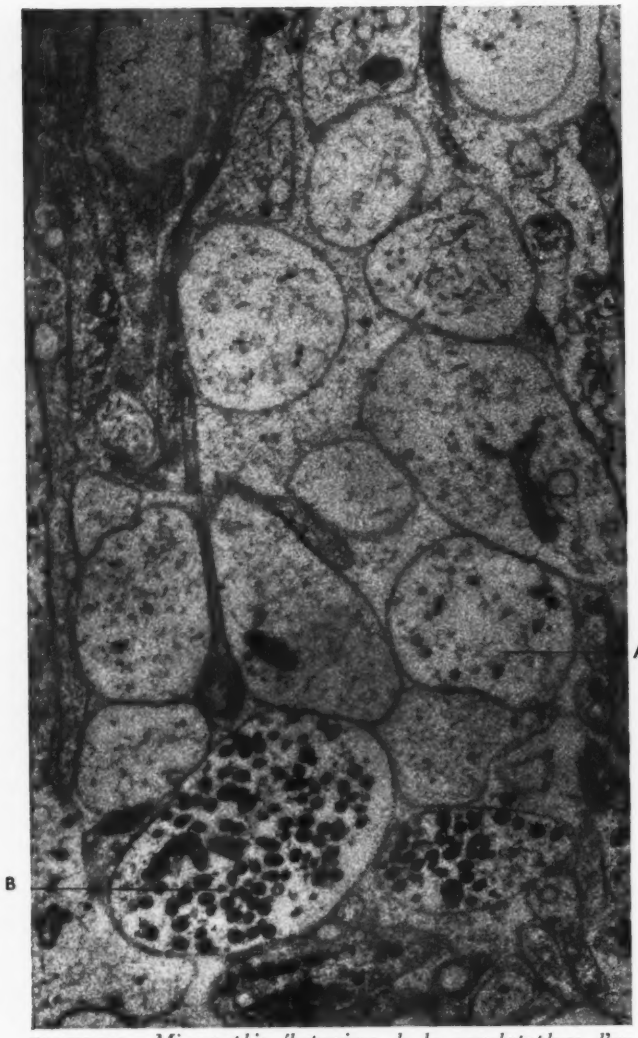


FIGURE 9 – *Micrographie électronique de la neurohypophyse d'un poisson téléostéen* (Gadus morrhua), *montrant les fibres nerveuses partiellement libres de sécrétion (A) et partiellement envahies de granules (B).* (× 14 000)

FIGURE 10 – *Micrographie électronique de deux fibres nerveuses coupées transversalement. Neurohypophyse de* Gadus morrhua, *montrant de nombreux granules de neurosécrétion.* (× 14 000)

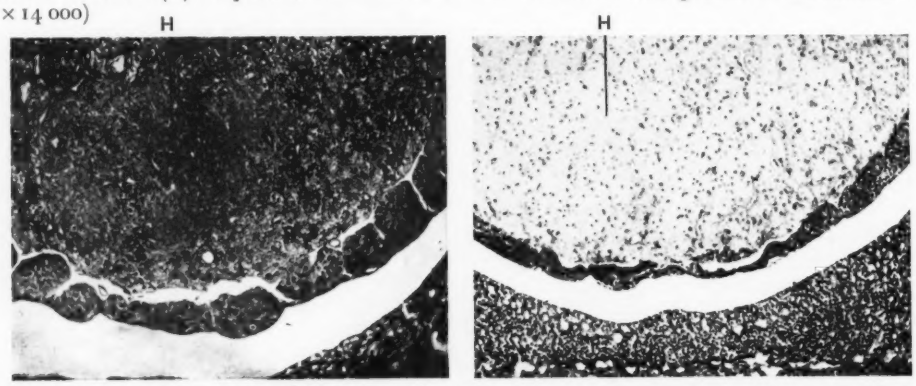


FIGURE 11 – *Lobe postérieur de l'hypophyse (H) d'un rat (à gauche) avec une forte teneur en neurosécrétion et (à droite) après que l'animal a souffert d'une grave perte d'eau; le lobe est alors vide de neurosécrétion* [26]. *Coloration hématoxyline à l'alun de chrome.* (× 74)

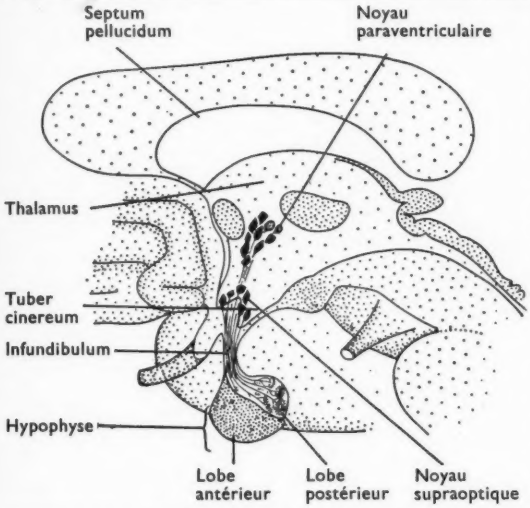


FIGURE 12 – *Représentation schématique de la voie neurosécrétrice hypothalamo-hypophysaire chez l'homme: coupe longitudinale médiane avec les positions des noyaux supraoptique et paraventriculaire superposées. Les prolongements des cellules nerveuses sécrétrices s'étendent vers le lobe postérieur* [39].

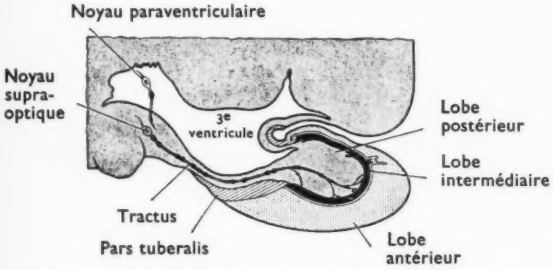


FIGURE 13 – *Parcours du tractus hypophysaire d'un chien.*

glandulaires». Des chapelets linéaires de gouttelettes de sécrétion (neurosécrétion) peuvent être mises en évidence dans les fibres non myélinisées qui se dirigent vers l'hypophyse, mais il a été longtemps impossible de retrouver la trace de ce matériel dans le plexus nerveux terminal du lobe postérieur. Au cours de la dernière décennie, nous avons pu cependant montrer [3] la voie neurosécrétrice au moyen d'une technique histologique sélective de coloration, qui montre la sécrétion au cours de son transport, c'est-à-dire entre les noyaux du diencéphale et la neurohypophyse, dans la paroi de l'infundibulum (figures 1–8). Aujourd'hui, nous connaissons d'autres méthodes que l'usage de l'hématoxyline à l'alun de chrome, originellement utilisée, pour mettre en évidence les neurones sécréteurs [41, 42]. Même les réseaux nerveux les plus fins du lobe postérieur contiennent des granules de neurosécrétion, mais des granules beaucoup plus petits que ceux trouvés dans les parties des fibres proches du cerveau, ou dans les corps cellulaires neurosécréteurs, caractérisent le trajet, qui montre souvent des élargissements sphériques, riches en neurosécrétion. Ils correspondent aux corps de Herring que l'on avait pris à tort pour des structures isolées. On ne sait pas encore si les cellules nerveuses des noyaux tubéraux des mammifères sécrétent activement.

La structure submicroscopique des neurones sécréteurs du diencéphale se distingue aussi de celle des autres cellules nerveuses. Les micrographies électroniques (figures 9 et 10) montrent de nombreux granules denses [32] dont on peut retrouver la trace jusque dans les terminaisons nerveuses du lobe postérieur. Leur diamètre est de 1 200 à 1 800 Å chez les mammifères et de 1 500 à 3 000 Å chez les vertébrés inférieurs [5]. Des accumulations de telles particules forment la base de l'aspect de la neurosécrétion révélée par le microscope optique. De plus larges gouttes résultent de la confluence de ces granules.

Le phénomène de neurosécrétion doit être considéré du point de vue de la cytologie générale. Les cellules glandulaires, par exemple celles du pancréas, forment des granules de sécrétion dans la région nucléaire du cytoplasme caractérisée par des structures lamellaires spéciales: ergastoplasme et appareil de Golgi. Ces deux structures lamellaires étant concentrées dans la région nucléaire des cellules glandulaires et la neurosécrétion se produisant dans la région nucléaire et aussi dans les prolongements de la cellule et dans ses arborisations terminales du lobe postérieur, la question suivante se pose: la région nucléaire du neurone (péricaryon) ne produit-elle pas des granules qui seraient ensuite transportés au lobe postérieur? S'il en est ainsi, les noyaux supraoptique et paraventriculaire seraient le lieu de production de la neurosécrétion, les prolongements nerveux, sa voie de transport et les arborisations terminales, son lieu d'accumulation.

Les observations de P. Weiss sur un écoulement à partir du centre cellulaire le long de l'axone, dans les fibres nerveuses non sécrétrices, favorisent une telle interprétation. De plus, des cultures de tissus de neurones vivants faites à partir du noyau paraventriculaire du chien ont montré un mouvement distal de granules [21]. De même, après section du pédoncule hypophysaire — c'est-à-dire interruption de la voie neurosécrétrice — il se

produit un épaississement des fibres nerveuses au bout central, accompagné d'une augmentation de la neurosécrétion et d'une disparition du matériel neurosécrété dans les parties distales des fibres; cette situation observée après section de la voie de transport chez l'homme, peut être considérée comme un blocage au lieu d'interruption [21, 46]. Enfin, les observations sur le pédoncule hypophysaire d'un poisson téléostéen [10], et les recherches de voies neurosécrétrices analogues chez les invertébrés (chez lesquels la neurosécrétion joue un rôle important) fournissent un argument de plus à l'hypothèse du transport des neurosécrétions de la région nucléaire de la cellule vers ses extrémités.

Il apparaît ainsi que les groupes de cellules neurosécrétrices du diencéphale sont reliées au lobe postérieur de l'hypophyse par leurs prolongements. Le lobe postérieur ne semble pas être le lieu de formation de la sécrétion, mais un organe d'accumulation des granules, que l'on peut sélectivement colorer et qui présentent un aspect caractéristique au microscope électronique. Le lobe postérieur libère la vasopressine et l'ocytocine dans le flot sanguin, quand elles sont nécessaires. On peut aussi reconnaître l'existence d'un lieu de production, d'une voie de transport et d'un organe d'accumulation pour les autres systèmes d'hormones neurosécrétées chez les invertébrés, comme les insectes ou les crustacés, et chez les vertébrés [14, 38].

SIGNIFICATION FONCTIONNELLE

Nous considérerons maintenant la signification fonctionnelle de ce système. Il faut d'abord parler des premières recherches sur le contrôle de la rétention de l'eau. Les expériences classiques [34, 35] sur les mammifères ont montré que la section de la tige pituitaire, l'infundibulum (figure 2), est suivie de l'accroissement de l'émission d'urine. On sait aussi depuis longtemps que, chez l'homme, le diabète insipide — perte d'eau qui menace sérieusement l'organisme — résulte toujours de la destruction ou de l'altération du lobe postérieur de l'hypophyse. De plus, on a aussi observé le diabète insipide chez l'homme quand les noyaux supraoptiques et paraventriculaires (figure 12) sont insuffisamment développés [12]. D'un autre côté, l'émission d'urine est réduite si la pression du sang dans le lit capillaire du noyau supraoptique dépasse la normale. Les expériences élégantes de E. B. Verney sur le chien l'ont montré [47]. Verney considère que, dans la région de ce noyau, il existe des récepteurs dont l'excitation provoque la libération d'une substance antidiurétique par le lobe postérieur. Même après injection d'acétylcholine dans le noyau supraoptique du chien, le flot d'urine est réduit [33].

Toutes ces observations ont été faites à un moment où les phénomènes de neurosécrétion du diencéphale et leur relation avec le lobe postérieur n'étaient pas connus. On expliquait alors les résultats en supposant que la commande de la neurohypophyse se faisait uniquement par des influx nerveux, dépendant des conditions expérimentales ou pathologiques. On croyait que le facteur important était, soit une stimulation nerveuse, soit une inhibition de l'activité du lobe postérieur. La base de cette activité était soit inconnue, soit attribuée à tort aux pituicytes. Aujourd'hui, on doit poser la question différemment. Quelle relation existe-t-elle entre l'activité neurosécrétrice du tractus noyau supraoptique — hypophyse, représenté chez tous les vertébrés et la rétention d'eau et d'électrolytes?

Si les granules de neurosécrétion du lobe postérieur de l'hypophyse représentent le support de l'hormone antidiurétique — la vasopressine —, on doit s'attendre à ce que la quantité de neurosécrétion, ou sa réaction de coloration se modifient quand les conditions de rétention de l'eau changent. En fait chez les amphibiens qui sont exposés à la déshydratation et les mammifères souffrant de la soif, la neurosécrétion du lobe postérieur est considérablement réduite [26, 31, 45] (figure 11). On peut regarder cette diminution comme une conséquence d'une libération d'hormone antidiurétique, produisant une diminution de l'émission d'eau par le rein. Les études au microscope électronique [17], suggèrent que la diminution de la neurosécrétion à coloration spécifique dans le lobe postérieur correspond à une décharge des granules précédemment décrits: ceux-ci prennent l'aspect de vésicules. Les relations entre la lactation, stimulée par l'ocytocine, et le matériel neurosécrété du lobe postérieur peut également se démontrer sur matériel histologique. Dans les 24 heures de la parturition, il y a une réduction considérable des granules de neurosécrétion de la neurohypophyse du rat [45].

Toutes ces observations sont en bon accord avec l'hypothèse de travail admettant la neurosécrétion comme origine de l'hormone antidiurétique et de l'ocytocine. Les résultats d'expériences d'extraction faites sur le cerveau et la neurohypophyse du chien [22, 11] sont même plus décisifs. Ils donnent une information, non seulement sur l'activité antidiurétique du système, considérée

jusqu'à maintenant, mais aussi sur son action sur la pression sanguine et sur l'action de l'ocytocine sur l'utérus et les glandes mammaires.

Il est possible d'isoler des parties d'hypothalamus contenant la neurosécrétion et d'analyser qualitativement et quantitativement leur teneur en hormones; on peut alors faire une comparaison avec les autres parties du cerveau. De tels essais (figure 14) montrent que les régions des noyaux neurosécréteurs, les voies de transport entre ces noyaux et le lobe postérieur, de même que le lobe postérieur lui-même contiennent de la vasopressine et de l'ocytocine [22, 11]; les régions voisines des noyaux neurosécréteurs ne possèdent pas ces substances. Au moyen des extraits des noyaux supraoptiques et paraventriculaires, de la région du pédoncule ou du lobe postérieur de l'hypophyse, on peut produire une réduction du flux d'urine avec concentration simultanée de chlorure, un accroissement de la pression sanguine et la contraction des cellules épithéliales de la glande mammaire et des muscles lisses de l'utérus. Les observations que les neurohypophyses d'animaux nouveaux-nés ou jeunes sont beaucoup plus pauvres en hormones du lobe postérieur que celles des adultes [19, 20] et qu'elles ont une neurosécrétion beaucoup moins colorable, sont d'accord avec ces découvertes. De plus les cellules nerveuses des noyaux supraoptiques et paraventriculaires sont immatures, c'est-à-dire qu'elles ne montrent aucune activité sécrétrice.

La démonstration de la production d'hormones définies par les neurones sécréteurs du diencéphale (on devrait parler d'hormones hypothalamiques [4] et non d'hormones du lobe postérieur) n'exclut pas la possibilité d'une influence exercée

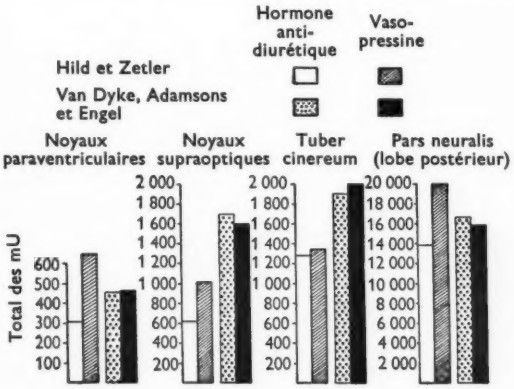


FIGURE 14 – *Résultats du dosage du contenu du système neurosécréteur hypothalamo-hypophysaire en vasopressine et ocytocine* [11].

sur le système par l'intermédiaire d'influx nerveux classiques. En fait, on a aussi montré, pour citer seulement un exemple, que la stimulation électrique du «centre de la soif» de l'hypothalamus de la chèvre provoque immédiatement, non seulement l'action de boire, mais aussi une antidiurèse et une libération de lait [2]. La stimulation électrique de la région du tractus supraoptique-hypophyse produit seulement une réduction de la perte d'eau et une émission de lait; elle ne conduit pas l'animal à boire.

Comme on l'a noté au début de cet article, on connaît les structures de la vasopressine et de l'ocytocine. Mais quelle est la signification des granules que révèle la microscopie électronique dans les cellules neurosécrétrices? Avons-nous affaire à des granules de peptides actifs, sont-ce les hormones ou les transporteurs de ces hormones?

Les recherches chimiques de R. Acher montrent que, dans le lobe postérieur, il existe, à côté de substances biologiquement actives, une protéine inactive (neurophysine) qui paraît liée aux hormones. Cette protéine est peut-être identique à la neurosécrétion identifiable sous le microscope par sa coloration spécifique. La neurosécrétion est formée de granules visibles en microscopie électronique, mais on ne sait pas actuellement quelle partie des granules correspond à la neurophysine.

Les résultats de la microscopie normale et électronique et les recherches pharmacologiques et chimiques donnent un tableau assez complet du mode d'action d'un système central de neurones humoralement actifs. C'est le seul système de ce type morphologiquement reconnu chez les vertébrés. Notre compréhension des relations fonctionnelles du système hypothalamo-hypophysaire avec les différentes parties du lobe antérieur est assez maigre, même si les deux lobes ont dans l'espace les relations les plus étroites. On a montré que même si certaines fibres neurosécrétrices paraissent entrer dans la *pars tuberalis*, elles se rendent principalement dans le lobe intermédiaire, où elles prennent un contact étroit avec les cellules épithéliales (figure 13). Dans l'hypophyse des poissons, le trajet des fibres neurosécrétrices est particulièrement lié à l'adénohypophyse. De plus, les fibres nerveuses contenant la neurosécrétion atteignent les capillaires dans le pédoncule hypophysaire [4, 39], si bien que les vaisseaux portes du système hypothalamo-hypophysaire pourraient transporter des matériaux venant du système neurosécréteur au lobe antérieur de l'hypophyse [15, 16].

On doit considérer ces découvertes morphologiques en même temps que d'autres observations. Par exemple, le crapaud se dépouille de sa peau sous l'influence d'une lysine, la vasopressine, à condition que le lobe antérieur de l'hypophyse soit présent [24]. La vasopressine synthétique provoque la libération d'hormone adrénocorticotrope [ACTH] venant du lobe antérieur, chez le rat, si on l'administre par voie parentérale [29]. Chez le cobaye, on peut montrer la libération accrue d'ACTH en étudiant l'accroissement de corticostéroïdes dans l'urine, après administration de pitressine, hormone du lobe postérieur. Cet effet n'existe plus chez les animaux ayant subi l'ablation de l'hypophyse [43]. De plus, on a montré [13, 16, 37] *in vitro* un accroissement de production d'ACTH sous l'influence d'extraits du lobe postérieur et de l'hypothalamus. La substance active paraît, suivant l'analyse chromatographique, être un peptide, qui ne s'identifie ni à l'hormone antidiurétique, ni à l'ocytocine, ni à l'acétylcholine, l'adrénaline, la noradrénaline, la sérotonine ou l'histamine. Cependant ce peptide contient de nombreux acides aminés que l'on trouve aussi dans la vasopressine. On ne peut exclure la possibilité d'une influence du système neurosécréteur du diencéphale sur l'activité du lobe antérieur [15, 28]. La démonstration non équivoque d'une telle influence éclairerait le mystère des relations intimes entre le diencéphale (et le lobe postérieur) et la partie épithéliale de l'hypophyse.

Les systèmes qui contrôlent les sécrétions internes sont interdépendants. Un organe effecteur agit comme régulateur seulement si une information venue de l'organe cible l'atteint par voie neurale ou humorale; c'est seulement dans ces circonstances qu'il peut agir d'une manière déterminée. On peut étudier cette dépendance mutuelle, même dans le cas du système neurosécréteur hypothalamo-hypophysaire. Ainsi la stimulation mécanique du mamelon par la succion ou par l'action de traire conduit à une excitation qui atteint le système nerveux central par voie nerveuse et produit la libération d'ocytocine, qui est amenée à la glande mammaire par le sang. Elle y produit la contraction des cellules musculaires qui entourent les alvéoles et ainsi l'émission du lait (voir figure 15). La cessation de l'excitation mécanique diminue la production d'ocytocine.

Les recherches sur les relations de ce type sont à leur début. On a récemment suggéré l'existence d'une connexion entre le système hypothalamo-hypophysaire et l'appareil visuel. Par exemple, il se produit des troubles de la rétention de l'eau,

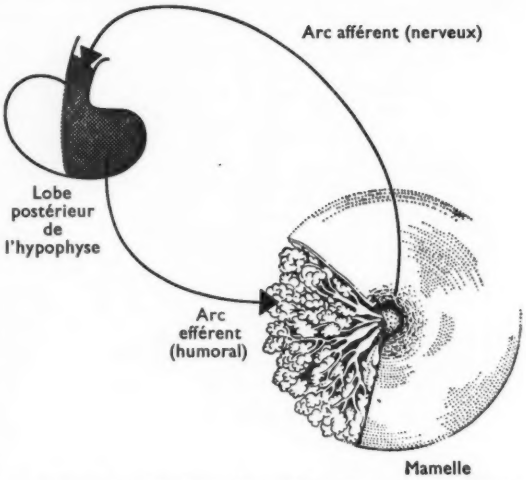


FIGURE 15 – *Représentation schématique de l'interaction entre la glande mammaire et la neurohypophyse* [9].

chez les aveugles. De plus, on sait que la lumière peut stimuler l'activité sexuelle chez les oiseaux et les mammifères [48, 7, 8] et ceci se produit probablement par l'intermédiaire de l'hypothalamus et de la partie épithéliale de l'hypophyse. On pense que des substances hypothalamiques transmises par voie sanguine viennent stimuler le lobe antérieur. De soigneuses recherches sur le système neurosécréteur d'un passereau nord-américain (*Zonotrichia leucophrys gambelii*) appuient une telle interprétation. Elles ont montré des différences nettes de la quantité de neurosécrétion dans les cellules du diencéphale et dans les voies efférentes au cours de l'année, c'est-à-dire en relation avec le développement de la gonade et avec l'intensité et la durée de la lumière [30]. De plus, on a pu expérimentalement réduire la neurosécrétion dans la région des noyaux et dans le *tuber cinereum* en augmentant l'exposition journalière à la lumière, ce qui provoque en même temps une augmentation du poids du testicule et du poids total du corps.

En considérant ces phénomènes, qu'il n'est pas possible de décrire entièrement ici, on se pose la question de savoir si les hormones du diencéphale, agissant sur le lobe antérieur, sont identiques, ou seulement semblables à la vasopressine ou l'ocytocine, ou si ce sont d'autres régions que les parties neurosécrétrices qui contrôlent l'activité gonadotrope de l'hypophyse [44]. Nous ne pourrons atteindre une connaissance complète de ce système complexe de qu'en examinant en détail les relations entre le diencéphale, l'hypophyse et les autres

glandes endocrines. Ceci s'applique aussi à ce que nous savons de la métamorphose des animaux inférieurs, comme la lamproie de rivière; pendant cette métamorphose, la neurosécrétion hypophysaire, auparavant abondante, disparaît [25].

On ne sait pas encore nettement comment les hormones hypothalamiques, mises en réserve dans les parties terminales de la voie neurosécrétrice, sont libérées dans les capillaires, dans les régions du pédoncule et du lobe postérieur lui-même. Il est rare de trouver la neurosécrétion dans la lumière des vaisseaux. La transformation des granules de neurosécrétion, visibles, au microscope électronique, en vésicules dont nous avons parlé, pourrait traduire un phénomène de libération.

Avec la découverte de l'activité hormonale de certains neurones du diencéphale, l'organisation du mécanisme central de contrôle des phénomènes végétatifs apparaît sous un jour nouveau. Une partie centrale du système nerveux autonome peut aussi fonctionner comme glande endocrine: c'est la glande diencéphalique, qui agit, non seulement sur les organes éloignés, mais aussi apparemment sur le lobe antérieur voisin, par la voie humorale.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ACHER, R. Dans «II. Int. Symp. Neurosecretion, Lund, 1957», pp. 71–78. Springer, Berlin. 1958.

[2] ANDERSSON, B. et MCCANN, S. M. *J. Physiol.*, **129**, 44, 1955.

[3] BARGMANN, W. *Z. Zellforsch.*, **34**, 610, 1949.

[4] *Idem.* «Das Zwischenhirn-Hypophysensystem» Springer-Verlag, Berlin. 1954; *Proc. 8th Symp. Colst. Res. Soc. Bristol*, **8**, 11, 1957.

[5] *Idem.* Dans «II. Int. Symp. Neurosecretion, Lund, 1957», pp. 4–12. Springer, Berlin. 1958.

[6] BARGMANN, W. et SCHARRER, E. *Amer. Scient.*, **39**, 255, 1951.

[7] BENOIT, J. *Rev. suisse Zool.*, **65**, 577, 1957.

[8] BENOIT, J. et ASSENMACHER, I. *J. Physiol.*, **427**, 237, 1955.

[9] BERDE, B. «Recent Progress in Oxytocin Research». American Lecture Ser. No. 360. Springfield. 1959.

[10] CARLISLE, D. B. Dans «II. Int. Symp. Neurosecretion, Lund, 1957», pp. 18–19. Springer-Verlag, Berlin. 1958.

[11] VAN DYKE, H. B., ADAMSONS, K., jr et ENGEL, S. L. *Recent Progr. Hormone Res.*, **11**, 1, 1955.

[12] GAUPP, R., jr. *Klin. Wschr.*, 1012, 1934; *Fortschr. Neur. Psychiat.*, **13**, 257, 1941.

[13] GUILLEMIN, R. *Endokrinologie*, **34**, 193, 1957.

[14] HANSTRÖM, B. *Nature, Lond.*, **171**, 72, 1953.

[15] HARRIS, G. W. «Neural control of the pituitary gland». Edward Arnold Ltd., Londres. 1955.

[16] FIELDS, W. S., GUILLEMIN, R. et CARTON, C. A. (publié sous la direction de). Dans «Hypothalamic-hypophysial interrelationships. A symposium». Springfield, Illinois. 1956

[17] HARTMANN, J. F. *Z. Zellforsch.*, **48**, 291, 1958.

[18] HELLER, H. *Experientia*, **6**, 368, 1950.

[19] HELLER, H. et LEDERIS, K. *J. Physiol.*, **147**, 299, 1959.

[20] HELLER, H. et ZAIMIS, E. J. *Ibid.*, **109**, 162, 1949.

[21] HILD, W. *Acta neuroveg.*, **3**, 81, 1951; *Z. Zellforsch.*, **40**, 257, 1954.

[22] HILD, W. et ZETLER, G. *Experientia*, **7**, 189, 1951; *Arch. exp. Path. Pharmak.*, **213**, 139, 1951; *Pflüg. Arch. Ges. Physiol.*, **257**, 169, 1953; *Z. exp. Med*, **120**, 236, 1953.

[23] HINSEY, J. C. et MARKEE, J. E. *Amer. J. Physiol.*, **106**, 48, 1953.

[24] JØRGENSEN, C. B. et OLESEN LARSEN, L. *Ergebn. Biol.*, **22**, 1, 1960.

[25] VAN DE KAMER, J. C. et SCHREURS, A. F. *Z. Zellforsch.*, **49**, 605, 1959.

[26] KRATZSCH, E. *Ibid.*, **36**, 371, 1951.

[27] MARKEE, J. E., EVERETT, J. W., et SAWYER C. H. *Recent Progr. Hormone Res.*, **7**, 139, 1952.

[28] MARTINI, L., MIRA, L., PECILE, A., et SAITO, S. *J. Endocrin.*, **18**, 245, 1959.

[29] MCCANN, S. M. *Endocrinology*, **60**, 664, 1957.

[30] OKSCHE, A., LAWS, D. F., KAMEMOTO, F. J. et FARNER, D. S. *Z. Zellforsch.*, **51**, 1, 1959.

[31] ORTMANN, R. *Ibid.*, **36**, 92, 1951.

[32] PALAY, S. L. *Anat. Rec.*, **121**, 384, 1955; *Progr. Neurobiol.*, Vol. II, «Ultrastructure and Cellular Chemistry of Neural Tissue», pp. 31–49, 1957.

[33] PICKFORD, N. *J. Physiol.*, **106**, 264, 1947.

[34] RANSON, S. W., FISHER, C. et INGRAM, W. R. *Res. Publ. Ass. nerv. ment. Dis.*, **17**, 410, 1938; *Amer. J. Physiol.*, **109**, 57, 1934; *Endocrinology*, **23**, 175, 1938.

[35] RANSON, S. W. et MAGOUN, H. W. *Ergebn. Physiol.*, **41**, 56, 1939.

[36] RODECK, H. Supplément aux *Arch. Kinderheilk.*, No. 36. F. Enke Verlag, Stuttgart. 1958.

[37] SAFFRAN, M., SCHALLY, SEGAL et ZIMMERMANN. Dans «II. Int. Symp. Neurosecretion, Lund, 1957», pp. 55–59. Springer, Berlin. 1958.

[38] SANO, Y. et HARTMANN, F. *Z. Zellforsch.*, **48**, 538, 1958.

[39] SCHARRER, B. et SCHARRER, E. «Neurosekretion». Dans «Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen», Vol. VI. Springer-Verlag, Berlin. 1954.

[40] SCHARRER, E. et WITTENSTEIN, G. J. *Anat. Rec.*, **112**, 387, 1952.

[41] SCHIEBLER, T. H. *Naturwissenschaften*, **45**, 214, 1958.

[42] SLOPER, J. C. *Nature, Lond.*, **179**, 148, 1957; *Internat. Rev. Cytol.*, **7**, 337, 1958.

[43] SOBEL, H., LEVEY, R. S., MARMORSTON, J. SCHAPIRO, S. et ROSENFELD, S. *Proc. Soc. exp. Biol., N.Y.*, **89**, 10, 1955.

[44] SPATZ, H. «Zentrale Steuerung der Sexualfunktionen». Dans «I. Symposium Deutsche Gesellschaft für Endokrinologie, 1953». Springer-Verlag, Berlin. 1955.

[45] STUTINSKY, F. *Ann. Endocr.*, **14**, 722, 1953.

[46] *Idem. Bull. microsc. Appl., Mém. hors série*, **2**, 1, 1957.

[47] VERNEY, E. B. *Proc. roy. Soc., B*, **135**, 27, 1947; *Brit. med. J.*, 119, 1948.

[48] ZUCKERMAN, S. *J. Méd., Bordeaux*, **135**, 121, 1958.

Les dérivés phosphonitriliques

par N. L. PADDOCK

Bien des propriétés des composés phosphonitriliques permettent d'envisager qu'ils trouveront des applications comme polymères résistant à la chaleur. Ces composés présentent plusieurs traits couramment rencontrés en chimie organique, notamment le caractère aromatique et divers types d'isomérie. La recherche a dévoilé certains des facteurs nouveaux dont il faut tenir compte quand le phosphore intervient dans un système polymérique. On décrit ici certains des progrès récents de cette branche grandissante de la chimie inorganique.

Les dérivés phosphonitriliques constituent une série de composés chimiques contenant l'unité $\begin{array}{c}|\\ -P=N-\\ |\end{array}$. Ils suscitent un intérêt croissant que plusieurs raisons expliquent [1]. Cette recherche provient essentiellement de la haute stabilité thermique de certains des composés, éveillant l'espoir qu'ils pourraient servir de base à des matériaux ayant des propriétés utiles à haute température. Ces matériaux seraient des fluides utiles en hydraulique, comme échangeurs de chaleur et comme lubrifiants, ainsi que des solides ayant les propriétés mécaniques des polymères organiques connus. La constatation récente que les composés phosphonitriliques sont des systèmes aromatiques a stimulé la recherche, puisque, dans le domaine organique, les composés aromatiques se distinguent par leur stabilité chimique et thermique; il était donc normal de rechercher des propriétés analogues dans une série aromatique inorganique.

L'épanouissement de la chimie organique moderne, notamment sous l'angle physique, a bénéficié partiellement de la stabilité fondamentale du squelette carboné, qui permet une substitution variée et l'étude de son effet sur la vitesse et le mécanisme des réactions. C'est ainsi qu'on a pu comprendre intimement les réactions aux atomes de carbone. En chimie inorganique, par contre, les séries homologues sont rares. On peut donc s'attendre à ce que l'examen détaillé de la série exceptionnelle des phosphonitriliques, où l'on peut varier les substituants du tout au tout sans rompre le squelette P—N, nous donne un aperçu de la chimie du phosphore.

PRÉPARATION

Il existe deux préparations distinctes pour les dérivés phosphonitriliques. La première repose sur l'ammonolyse d'un composé approprié du phosphore pentavalent, et est illustrée par le procédé bien connu de H. N. Stokes et perfectionné par R. Schenk et G. Römer [2]. Le pentachlorure phosphorique est chauffé dans un solvant inerte sous reflux avec du chlorure d'ammonium; la réaction procède aisément et presque quantitativement

$$PCl_5 + NH_4Cl \longrightarrow \frac{1}{n}(PNCl_2)_n + 4HCl$$

et si les conditions sont bien choisies, le produit se compose à peu près uniquement de polymères cycliques. Le trimère est le plus abondant et le rendement des polymères supérieurs diminue lentement avec l'augmentation de degré de polymérisation. Stokes a séparé les polymères individuels allant jusqu'à l'heptamère; il ne restait plus qu'un liquide non distillable ayant la même composition empirique, et ayant, selon lui, des polymères cycliques plus grands [3]. Des recherches récentes ont confirmé cette hypothèse. On peut préparer d'autres dérivés d'une façon analogue, par exemple les phényles $\{PN(C_6H_5)_2\}_{3,4}$ à partir de $(C_6H_5)_2PCl_3$ [4], les méthyles $\{PN(CH_3)_2\}_{3,4}$ [5], les bromures [6] et d'autres dérivés mixtes. Le second mode de préparation repose sur des réactions de substitution à partir d'un composé phosphonitrilique existant, généralement un chlorure très accessible. C'est ainsi qu'on a préparé les fluorures, les alkoxydes, les alkylamides et des séries de composés. Nous retrouverons beaucoup d'exemples de dérivés phosphonitriliques venant des deux voies: ils se composent tous d'unités $\begin{array}{c}|\\ -P=N-\\ |\end{array}$ répétées.

COMPOSÉS TRIMÈRES

Le dérivé phosphonitrilique le plus commun est le chlorure $(PNCl_2)_3$ que l'on écrit comme s'il contenait trois doubles liaisons. En réalité, dans les limites d'erreur des expériences [7], les liaisons

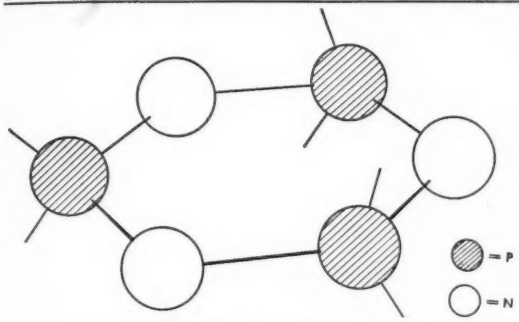


FIGURE 1 – *La structure de la molécule de chlorure phosphonitrilique. On ne voit pas les atomes de chlore.*

du noyau sont égales, puisque leur longueur est proche de 1,60 Å alors qu'on a trouvé la valeur de 1,78 Å pour la simple liaison P—N de l'ion phosphoramidate $NH_2PO_3^{2-}$ [8]. La molécule possède la structure indiquée dans la figure 1. Dans le cristal elle est environ plane; les petites déviations de planéité observées proviennent sans doute de la répulsion mutuelle d'atomes de chlore de molécules voisines. Les résultats spectroscopiques exigent aussi que les liaisons du noyau soient égales et que le noyau soit plan [9]. Le chlorure trimère ressemble au benzène par sa structure; chimiquement il est moins réactif que la plupart des composés phosphore-chlore. Ainsi on peut remplacer tous les atomes de chlore par des groupes aminés, mais la réaction exige des conditions extrêmes [10]. La figure 2 indique quelques composés obtenus par substitution. Le dérivé méthoxylé est soluble dans l'eau [11] ce qui élimine facilement les éthers diméthylés entre les molécules; l'isothiocyanate se polymérise aisément [12], mais on ignore encore si c'est en ouvrant le noyau ou en passant par le groupe NCS. Le chlorure subit la réaction de Friedel et Crafts en donnant avec le benzène un dérivé du diphényle [13]; le chlorure et le fluorosulfite donnent un fluorure $P_3N_3F_6$ [14]. Récemment on a préparé l'hydrazide $P_3N_3(NH.NH_2)_6$ [15] qui subit les transformations ultérieures typiques des groupes attachés.

Ces dérivés et d'autres semblables sont très versatiles chimiquement et physiquement. Ils comprennent des composés aussi dissemblables que le fluorure, qui fond tout juste au-dessus de la température ordinaire et bout à 51°, et le dérivé méthyle $P_3N_3(CH_3)_6$ qui fond à 195°; le premier est insoluble dans les liquides polaires, même dans l'acide sulfurique concentré, l'autre se dissout facilement dans l'eau. Tous les dérivés ont en commun un noyau cyclique P_3N_3, dans lequel la résistance de la liaison dépend de l'électronégativité des groupes. On le verra qualitativement par la figure 3 où l'on a porté en ordonnée la fréquence de vibration E′ du noyau et en abscisse l'électronégativité Pauling de l'atome attaché au noyau phosphonitrilique. La fréquence observée croît avec l'électronégativité des groupements, qui constituerait ainsi une mesure approchée de la constante d'allongement de la liaison P—N, soit de sa résistance, qui atteint donc son maximum pour le fluorure.

On connaît aussi des dérivés partiellement substitués. Certains comme les chloro-bromures proviennent d'halogénures mixtes du phosphore [16], mais la plupart proviennent de réactions de substitution. Dans bien des cas, tels que l'hydrolyse partielle ou la réaction de Friedel et Crafts, il est normal que le produit contienne un nombre pair de chaque type de groupe. Il était donc naturel de supposer que la substitution s'effectue en paires sur chaque atome de phosphore, et, dans le cas des dérivés du diphényle, on a démontré par des expériences de dégradation qu'il en est réellement ainsi [13]. Pour les composés ayant un nombre impair de substituants cela ne peut évidemment pas être

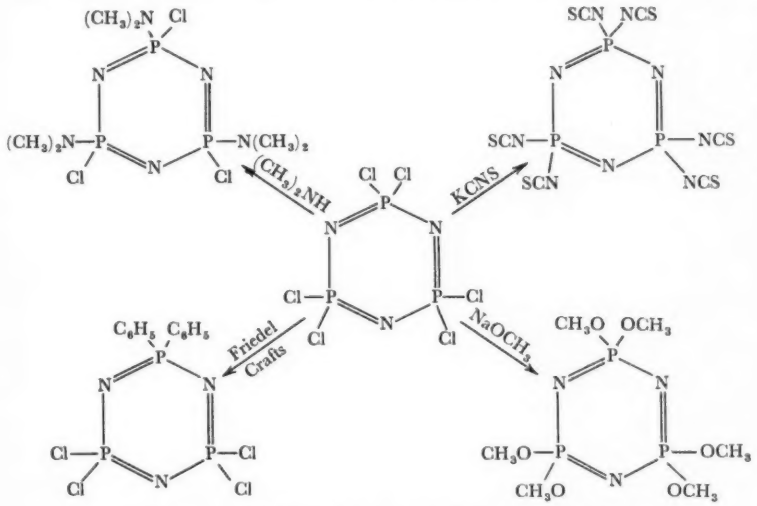


FIGURE 2 – *Quelques réactions du chlorure phosphonitrilique.*

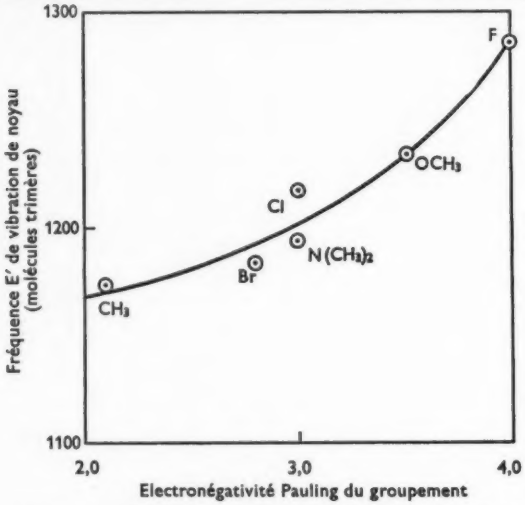


FIGURE 3 – *L'effet de l'électronégativité du groupement sur la fréquence de vibration cyclique.*

vrai, et l'on a pu prouver que le dérivé diméthylaminé $P_3N_3Cl_3\{N(CH_3)_2\}_3$ est effectivement substitué symétriquement [17]. Il est indubitable que dans certains dérivés doublement substitués les substituants sont liés à des atomes de phosphore différents; c'est donc trop simplifier les choses que de parler de substitution en paires.

Dès lors nous sommes amenés à envisager l'isomérie dans des dérivés mixtes, et plusieurs laboratoires étudient activement ce problème puisqu'aucun changement ne s'opère aux atomes d'azote, le problème géométrique est le même que dans le cyclopropane. Sous l'angle chimique l'intérêt réside en ce que l'action orientatrice sur le second substituant émane non seulement du noyau, comme c'est le cas pour le benzène, mais aussi du premier substituant. Quand notre étude sera plus avancée nous pourrons mieux juger de l'efficacité de ce genre de noyau aromatique comme agent de transmission des influences chimiques et l'importance relative des effets stériques et électroniques.

On trouve d'autres types d'isomérie. On peut hydrolyser le chlorure trimère: le remplacement des atomes de chlore donne l'acide correspondant dont les hydroxyles subissent une transformation tautomérique

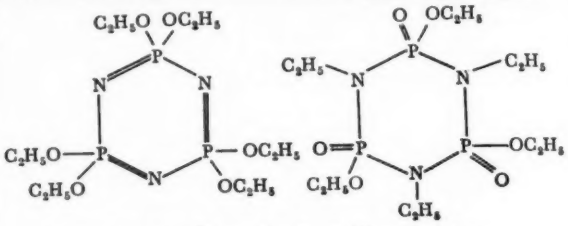


FIGURE 4 – *Esters phosphonitriliques isomères.*

$$—P(OH)_2=N— \rightarrow —PO(OH)—NH—$$

Ce genre de tautomérie céto-énolique est semblable à celle des cyanurates, qui ont un noyau C_3N_3, et dans les deux cas on peut préparer des composés N-chloro à partir des sels [18]. On connaît également un autre type apparenté d'isomérie de position; R. Rätz et M. Hess [19] ont obtenu l'ester éthylique normal par alcoolyse du chlorure et l'ester N-éthylique en traitant le sel d'argent de l'acide triphosphonitrilique avec l'iodure d'éthyle. Les deux formes sont représentées dans la figure 4.

COMPOSÉS TÉTRAMÈRES

En traitant le chlorure trimère avec du fluorure de plomb on obtient un mélange de chlorofluorures tétramères: c'est la seule réaction connue jusqu'ici dans cette série accompagnée d'une modification de la dimension du noyau [20]. Au reste, on obtient des composés trimères et

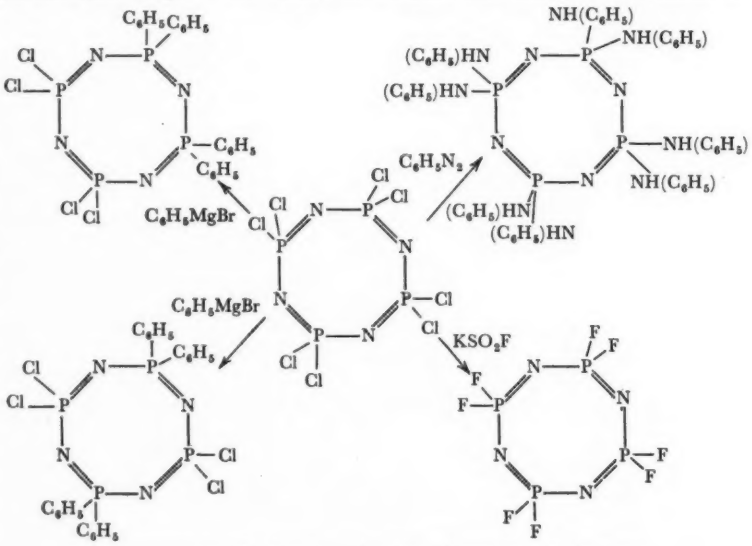


FIGURE 5 – *Quelques réactions du chlorure phosphonitrilique.*

tétramères par des méthodes similaires. La figure 5 indique quelques-unes des réactions de substitution du chlorure de tétramère. On peut préparer facilement l'anilide dont les groupes NH sont disponibles pour d'autres réactions; comme pour le trimère, le fluorure s'obtient aisément [14]. L'acide tétraphosphonitrilique, préparé par hydrolyse du chlorure, est très stable, et, comme son analogue le trimère, semble se présenter essentiellement sous la forme imide. Toutefois, un examen infrarouge de son dihydrate montre que les liaisons hydrogène intermoléculaires constituent un trait important du cristal, et la distinction entre les deux formes tautomériques est peut-être moins nette qu'on le suppose [21]. L'isomérie de structure des esters éthyliques se présente comme dans les trimères.

Le chlorure de tétramère donne avec l'organomagnésien C_6H_5MgBr non seulement le dérivé complètement phénylé $P_4N_4(C_6H_5)_8$, mais aussi deux tétraphényl-phosphonitriliques [22], qui sont probablement les isomères de position indiqués dans la figure 6. Dans d'autres composés tétraphényl tétrachlorés, préparés récemment par ammonolyse du $C_6H_5PCl_4$ [23], il est probable que chaque atome de phosphore porte un groupe phényle, et en conséquence, les composés doivent être deux des quatre stéréoisomères possibles indiqués dans la figure 6.

Bien que le noyau soit représenté comme plan, on a découvert au moins deux configurations distinctes illustrées par la figure 7: le chlorure affecte la forme d'un bateau [24], le fluorure celle d'une chaise. On a signalé deux formes du dérivé entièrement phénylé [22], et il est possible que ce composé existe sous deux formes dont la conversion est entravée par les groupes phényles massifs. Toutefois un noyau à huit atomes permet de concevoir des formes autres que celles du bateau

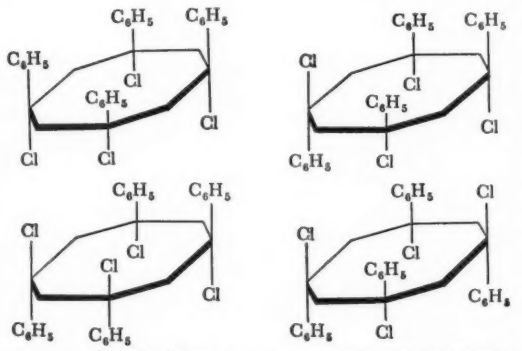


FIGURE 6 – *Stéréoisomères du composé* $(PNC_6H_5Cl)_4$ *tétramère.*

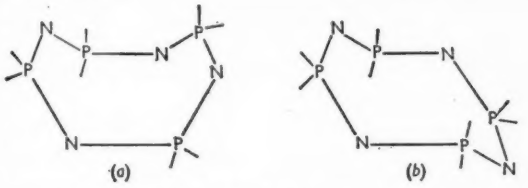


FIGURE 7 – *Les structures du squelette* (a) *du chlorure tétraphosphonitrilique,* (b) *du fluorure tétraphosphonitrilique.*

et de la chaise caractéristiques des cycles hexagonaux; ainsi, on a trouvé expérimentalement une série de symétries différentes pour l'ion tétramétaphosphate $(-PO_2-O-)_4^{4-}$ suivant le milieu ambiant [25].

Cette sorte d'isomérie de configuration pourrait multiplier le nombre d'isomères, et si l'une ou l'autre des deux formes représentées à la figure 7 était rigide, l'on pourrait isoler deux dérivés *cis*-1 : 2. En pratique, il est très vraisemblable que les obstacles au déplacement interne soient très faibles et du point de vue chimique il suffit simplement d'accepter que le cycle soit plan: les isomères obtenus ont donc une structure analogue à celle des dérivés du cyclobutane.

Bien que les composés tétramères n'aient pas encore été étudiés à fond, on sait que leurs propriétés chimiques sont voisines de celles des dérivés hexagonaux. Cela pourrait être surprenant, à première vue, puisque le cyclooctotétraène, le composé correspondant de la série carbonée, est un corps non saturé typique exempt de tout caractère aromatique. Comme le squelette du chlorure phosphonitrilique ressemble tellement à celui du cyclooctotétraène (figure 7*a*), on pourrait s'attendre à ce que dans la série phosphonitrilique également les cycles octogonaux diffèrent nettement des cycles hexagonaux. En réalité, dans le composé tétramère phosphonitrilique les liaisons sont toutes égales [24], tandis que le cyclooctotétraène a tour à tour une liaison simple et double [26]. Il faut visiblement faire appel à un nouveau facteur de structure pour expliquer comment les tétramères parviennent à conserver le caractère aromatique des trimères puisque ce phénomène ne s'applique pas à la série carbocyclique.

HAUTS POLYMÈRES

La présence de propriétés aromatiques dans les cycles octogonaux ou même plus grands est le point central de la différence entre les composés phosphonitriliques et leurs analogues organiques. Stokes a encore isolé trois autres membres de la

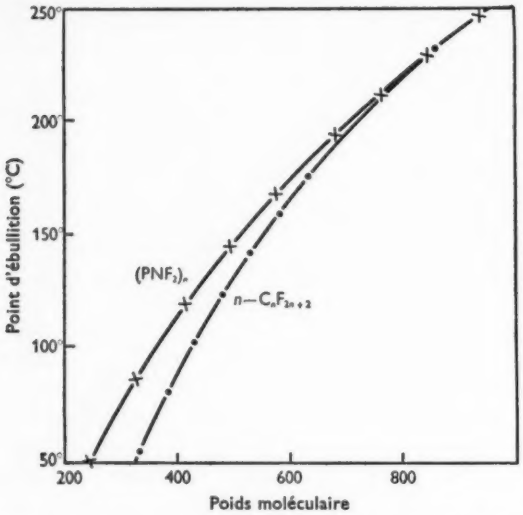


FIGURE 8 – *Les points d'ébullition des fluorures phosphonitriliques* $(PNF_2)_n$ *comparés à ceux des n-fluorocarbones* [36].

série du chlorure [3], et, à partir d'un mélange de chlorures supérieurs semblable au résidu non-distillable évoqué plus haut, on a obtenu depuis des fluorures allant jusqu'à $(PNF_2)_{17}$ [27]. Sous l'effet de la chaleur, ces chlorures et fluorures se polymérisent à 350° en donnant un solide élastique.

Les travaux relatifs à ces hauts polymères n'ont pas encore été publiés, mais on sait que les chlorures supérieurs ne sont pas plus réactifs que le trimère et le tétramère en présence d'agents nucléophiliques comme l'ion hydroxyle. Leurs spectres de résonance magnétique nucléaires révèlent qu'ils sont tous monocycliques, et les spectres infrarouges des fluorures montrent que la constante d'allongement de la liaison P—N ne subit que des variations minimes et régulières quand on s'élève dans la série. Bien qu'on n'ait pas d'éléments détaillés sur la longueur des liaisons et les angles des pentamères et des molécules plus volumineuses, des examens tant physiques que chimiques indiquent que les polymères supérieurs sont foncièrement les mêmes que le trimère et le tétramère.

La différence essentielle est que la flexibilité devient de plus en plus évidente; cela se voit le mieux dans les propriétés physiques des fluorures [27]. Ils ressemblent aux fluorocarbones *n*-paraffiniques, surtout par leurs points d'ébullition qui ont été portés en ordonnée pour les deux séries, dans la figure 8, en fonction du poids moléculaire. Les forces intermoléculaires sont donc relativement faibles. La viscosité des deux séries est cependant très différente parce que dans le cas de molécules plus volumineuses le transfert de quantité de mouvement dépend progressivement de la liberté de mouvement au sein de la molécule. Les travaux de C. W. Bunn relatifs au polytétrafluoréthylène [28] ont montré que le squelette carboné de cette molécule est recouvert d'atomes de fluor très serrés. Dans les fluorures plus petits un assemblage analogue doit nécessairement rendre la molécule entièrement rigide et le déplacement moléculaire s'effectue en grands segments. Dès lors, l'énergie d'activation d'écoulement visqueux des fluorocarbones représente une fraction appréciable de l'énergie de vaporisation. Les molécules des fluorures phosphonitriliques, par contre, sont beaucoup plus clairsemées et l'influence réciproque des atomes de fluor situés sur d'autres atomes de phosphore est minime. Par conséquent, les viscosités de ces composés sont réduites (le pentamère et l'eau ont environ la même viscosité à 20°) et, vu leur flexibilité élevée, l'énergie d'activation d'écoulement visqueux (équivalente au coefficient de température de viscosité) est faible aussi. En fait elles le sont moins que les diméthyl-siloxanes correspondants, qui sont eux-mêmes exceptionnels à cet égard, comme on le constatera en comparant les énergies d'activation équivalentes: 2,54 kcal par mole de $(PNF_2)_5$, 3,42 kcal par mole de $\{(CH_3)_2SiO\}_5$.

LA LIAISON CHIMIQUE DANS LA SÉRIE PHOSPHONITRILIQUE

Nous avons vu que les cycles phosphonitriliques se distinguent par un système dont la structure et les propriétés chimiques rappellent le caractère aromatique. A l'encontre des systèmes carbocycliques ce caractère se maintient dans une gamme de tailles plus étendue et s'accompagne d'une haute flexibilité.

Normalement, le phosphore trivalent ne donne pas de liaisons multiples et ne fait pas souvent partie d'un système non saturé. Tandis que la

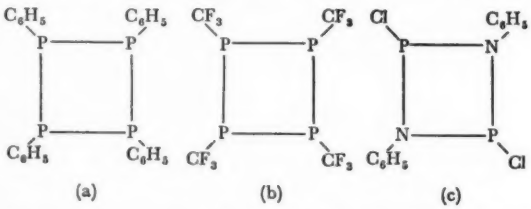


FIGURE 9 – *Composés du phosphore contenant des cycles à quatre éléments.*

molécule d'azote N_2 est liée par une triple liaison, la molécule de phosphore P_4 est tétraédrique, avec chaque atome lié aux trois autres par des liaisons simples. De plus, la double liaison joignant les atomes d'azote de l'azobenzène est suffisamment fixe pour permettre l'existence d'isomères géométriques stables. D'autre part, son analogue phosphoré est un dimère qui possède sans doute la forme cyclique à quatre éléments de la figure 9*a*. Les dérivés trifluorméthylés récemment signalés par A. B. Burg [29] sont également des polymères; on a aussi signalé le tétramère $(CF_3P)_4$ (figure 9*b*) et le pentamère $(CF_3P)_5$. Dans la série phosphore-azote on a en outre établi l'existence du composé tétramère $(PhN{:}PCl)_2$; dès lors, la molécule ne contient pas une vraie double liaison (figure 9*c*).

Une double liaison normale comme celle du carbone avec l'oxygène résulte du chevauchement entre deux orbitales de symétrie cylindrique dans la direction de la liaison (liaison σ) et entre deux orbitales 2p à angle droit à la direction de la liaison (liaison π). La formation d'une telle liaison π est illustrée par la figure 10*a*; la liaison σ a été omise pour la simplicité. Les configurations indiquent des zones de forte densité électronique, et le chevauchement de deux zones de même signe correspond à une densité croissante, soit à la formation d'une liaison covalente. L'orbitale 3p d'un atome de phosphore, par contre, ne donne pas une liaison π réelle puisqu'elle est trop orientée, trop blindée et trop éloignée de l'atome adjacent.

Dans les dérivés du phosphore pentavalent, au contraire, toutes les orbitales 3p sont utilisées dans la formation de quatre liaisons hybridées et des orbitales 3d deviennent disponibles pour la combinaison. La figure 10*b* montre le mode de chevauchement d'une liaison phosphorylée (par exemple le $POCl_3$) [31]. La formation d'une liaison π de ce genre est possible parce que le chevauchement s'effectue loin du noyau et qu'il n'est pas trop sensible à la séparation inter-

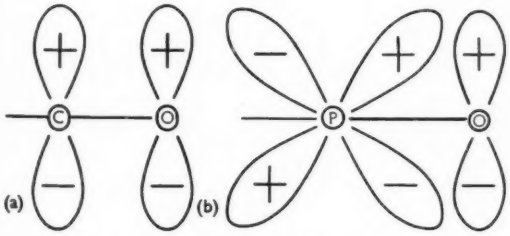


FIGURE 10 – *Formation d'une liaison* π *dans le groupe carbonyle* (a) *et* (b) *dans le groupe phosphoryle.*

nucléaire. En raison des formes différentes des deux orbitales impliquées, la zone de densité électronique maximum est plus proche de l'oxygène que de l'atome de phosphore, ce qui introduit par le fait même une polarité notable. La distinction entre les deux formulations P=O et $\overset{+}{P}$—$\overset{-}{O}$ n'est donc pas si grande qu'on le suppose d'habitude, et la forte polarité du groupe phosphoryle n'est pas incompatible avec une liaison purement covalente. Sa force est le principe moteur de sa facilité d'isomérisation

$$P(OCH_3)_3 \longrightarrow CH_3P(OCH_3)_2$$

et de beaucoup d'autres réactions analogues.

Tout comme l'existence de liaisons π localisées dans l'éthylène et les composés carbonylés amène tout naturellement à admettre un système de liaisons délocalisé dans le benzène, de même la conception du chevauchement d-p exposée ci-dessus peut être élargie aux systèmes délocalisés, et se concrétiser probablement dans la série de composés phosphonitriliques cycliques [32].

Les symétries différentes des orbitales d et p, toutefois, introduisent un facteur nouveau; l'orbitale p change de signe quand on l'inverse par son centre tandis que l'orbitale d ne le fait pas. Par conséquent, les niveaux d'énergie moléculaires sont inversés et par suite l'orbitale occupant le niveau supérieur des composés cycliques est non-dégénérée pourvu que les électronégativités des deux atomes du cycle soient différentes. Par suite, tout nombre pair d'électrons π donne des couches électroniques fermées et l'on trouve les caractéristiques de structure et l'inertie chimique associée avec le benzène, non seulement dans les dérivés phosphonitriliques trimères, mais aussi dans les cycles à huit éléments ou plus grands encore [32].

On verra l'origine de cette action en examinant la figure 11, où l'on observera le mode de liaison π du chevauchement des orbitales p-p et d-p. Dans la figure 11*a* les signes de toutes les orbitales p concordent et la délocalisation est totale; ce diagramme correspond donc au niveau minimum du benzène, où les électrons π se déplacent dans le plus grand volume possible et leur énergie cinétique est au minimum. Dans la figure 11*b* on estime de nouveau que toutes les orbitales d et p ont le même signe mais que leur propriétés diverses d'inversion introduisent un node de densité zéro pour chaque groupe PN. Les électrons de cette orbitale moléculaire sont assez rapprochés et ont une énergie élevée. Dans les figures 11*c* et 11*d* les signes des orbitales sont

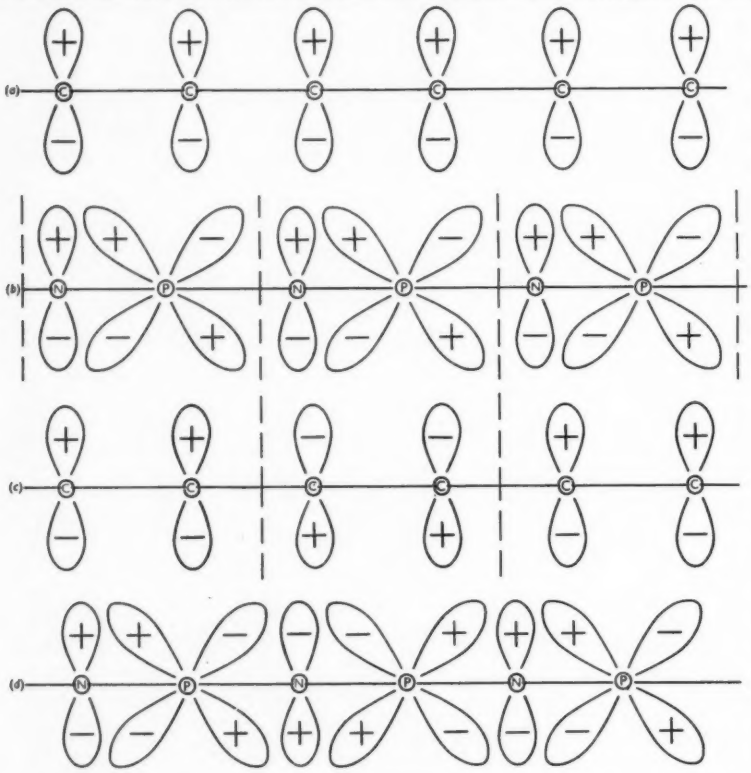


FIGURE 11 – *Modes de chevauchement relatifs à la formation de liaisons π à partir d'orbitales p* (a) *et* (c), *et d'orbitales alternées d et p* (b) *et* (d). *Les lignes pointillées correspondent aux nodes interatomiques.*

arrangés en paires alternées: de là un assortiment parfait des orbitales d et p qui correspond au minimum d'énergie. Si l'on arrange les signes de la même façon il surgit des nodes dans le mode de chevauchement des p-p qui s'inscrivent comme une augmentation de l'énergie par rapport à celle de la figure 11*a*.

La figure 12 donne le schéma des niveaux d'énergie des molécules trimères et tétramères: la dernière orbitale occupée n'est dégénérée dans aucun de ces niveaux. Il convient de les distinguer du cyclooctotétraène, dont la dernière orbitale occupée est dégénérée et à moitié remplie et qui, partant, présente une réactivité chimique accrue par rapport au benzène.

ASPECTS COMPLÉMENTAIRES

On a montré que l'évolution d'un caractère aromatique du type exposé repose sur l'électronégativité des groupes fixés au phosphore [32, 33]; suivant la théorie, l'énergie de l'électron π devrait s'accentuer avec l'électronégativité, et la figure 3 montre que les fréquences de vibration du cycle varient comme prévu. On s'attendrait aussi à ce que l'énergie de l'électron π augmente progressivement jusqu'à un maximum tandis que la dimension du cycle s'agrandit [32]. On ne peut mesurer directement cette quantité et même l'énergie totale de liaison dépend d'une division arbitraire de l'énergie d'atomisation moléculaire en fractions correspondant aux termes de l'énergie des liaisons P—Cl et P—N. Il semble, en tout cas, que le cycle se renforce en passant du trimère au tétramère comme prévu.

A première vue la flexibilité des fluorures est plutôt trop élevée pour un système d'électrons π. Le degré de planéité n'est pas rigoureux pour cette aromaticité parce que les restrictions imposées sur l'orientation des orbitales d émanant de la symétrie des orbitales s et p sous-jacentes ne sont que très minimes, et ces orbitales peuvent s'arranger pour donner le meilleur chevauchement avec leurs voisines; elles sont d'ailleurs assez étendues et diffuses. Le grand écartement des substituants permet aussi la liberté de mouvement de torsion; par contraste, la rigidité de torsion des liaisons

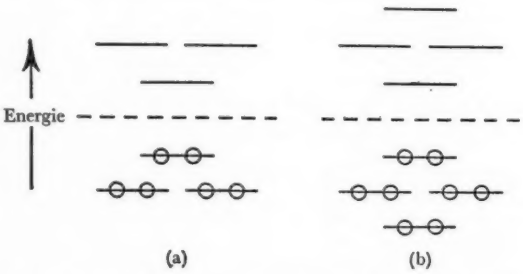


FIGURE 12 – *Diagramme des niveaux d'énergie des molécules phosphonitriliques* (a) *trimères et* (b) *tétramères. Les niveaux indiqués par des cercles correspondent aux orbitales de liaison. Les distances en dessous de la ligne pointillée représentent les énergies de stabilisation par rapport à un zéro arbitraire. Les niveaux en dessus de la ligne correspondent aux orbitales impropres à la liaison.*

C—C des hydrocarbures provient de l'interaction des substituants fixés aux atomes de carbone voisins.

Du point de vue chimique, cette inclusion est peut-être plus importante encore, parce que la réactivité chimique dépend au moins autant des orbitales vacantes, capables de se combiner avec un réactif ayant des électrons disponibles, que des orbitales participant déjà aux liaisons. On peut interpréter les caractéristiques principales de la structure et des réactions des phosphonitriles au moyen de la théorie ci-dessus.

Toutefois, il reste encore quelques phénomènes importants à expliquer. Nombre de composés de phosphore se distinguent en ce qu'ils se prêtent facilement à des changements de structure fondamentaux; par exemple, l'isomérisation du triméthyl phosphite, que nous avons évoquée plus haut. Des réactions similaires se présentent aussi dans la série phosphonitrilique. Le remplacement d'un groupe imide dans l'ion tétraphosphonitrilate par un atome d'oxygène s'effectue facilement [34] et I. I. Bezman [35] a trouvé récemment que le chlorure triphosphonitrilique réagit avec le benzoate de sodium en donnant du benzonitrile et du métaphosphate de sodium; —P═N—P═ est remplacé par —P—O—P—. Les obstacles à
‖ ‖
l'obtention de l'équilibre sont donc souvent minimes, bien qu'on n'en comprenne pas le mécanisme. L'élucidation de ces changements dans le domaine phosphonitrilique et dans d'autres sphères de la chimie du phosphore et des autres éléments de la deuxième rangée pourrait bien amorcer l'étape suivante de cette étude.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le Professeur D. P. Craig qui l'a autorisé à reproduire la figure 12, et le Dr A. F. Childs pour ses discussions profitables.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Revues générales avec références plus complètes: AUDRIETH, L. F., STEINMAN, R. et TOY, A. D. F. *Chem. Rev.*, **32**, 109, 1943. PADDOCK, N. L. et SEARLE, H. T., dans «Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry», Vol. 1, Academic Press Inc., New-York. 1959.
[2] SCHENK, R. et RÖMER, G, *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **57***B*, 1343, 1924.
[3] STOKES, H. N. *Amer. chem. J.*, **19**, 782, 1897.
[4] HABER, C. P., HERRING, D. L., et LAWTON, E. A. *J. Amer. chem. Soc.*, **80**, 2116, 1958.
[5] SEARLE, H. T. *Proc. chem. Soc., Lond.*, 7, 1959.
[6] BODE, H. *Z. anorg. Chem.*, **252**, 113, 1943.
[7] POMPA, F. et RIPAMONTI, A. *Ric. Sci.*, **29**, 1516, 1959; WILSON, A. et CARROLL, D. F. *J. chem. Soc.* (Sous presse)
[8] HOBBS, E., CORBRIDGE, D. E. C. et RAISTRICK, B. *Acta Cryst.*, **6**, 621, 1953.
[9] DAASCH, L. W. *J. Amer. chem. Soc.*, **76**, 3403, 1954.
[10] AUDRIETH, L. F. et SOWERBY, D. B. *Chem. and Ind.*, 748, 1959.
[11] DISHON, B. *J. Amer. chem. Soc.*, **71**, 2251, 1949.
[12] OTTO, R. J. A. et AUDRIETH, L. F. *Ibid.*, **80**, 5894, 1958.
[13] BODE, H. et BACH, H. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **75***B*, 215, 1942.
[14] SEEL, F. et LANGER, J. *Angew. Chem.*, **68**, 461, 1956.
[15] OTTO, R. J. A. et AUDRIETH, L. F. *J. Amer. chem. Soc.*, **80**, 3575, 1958.
[16] RICE, R. G., DAASCH, L. W., HOLDEN, J. R. et KOHN, E. J. *J. inorg, nucl. Chem.*, **5**, 190, 1958.
[17] BECKE-GOEHRING, M., JOHN, K. et FLUCK, E. *Z. anorg. Chem.*, **302**, 103, 1959.
[18] TAYLOR, M. C. Brevets des Etats-Unis 2,796,321, 2,796,322 (18 juin 1957).
[19] RÄTZ, R. et HESS, M. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **84**, 889. 1951,
[20] SCHMITZ-DUMONT, O. et KÜLKENS, H. *Z. anorg. Chem.*, **238**, 189, 1938.
[21] CORBRIDGE, D. E. C. *Acta Cryst.*, **6**, 104, 1953.
[22] BODE, H. et THAMER, R. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **76***B*, 121, 1943.
[23] SHAW, R. A. et STRATTON, C. *Chem. and Ind.*, 52, 1959.
[24] KETELAAR, J. A. A. et DE VRIES, T. A. *Rec. Trav. chim. Pays-Bas*, **58**, 1081, 1939.
[25] STEGER. E. *Z. anorg. Chem.*, **294**, 146, 1958.
[26] BASTIANSEN, O., HEDBERG, L. et HEDBERG, K. *J. chem. Phys.*, **27**, 1311, 1957.
[27] CHAPMAN, A. C., PADDOCK, N. L., PAINE, D. H., SEARLE, H. T. et SMITH, D. R. *J. chem. Soc.* (Sous presse)
[28] BUNN, C. W. et HOWELLS, E. R. *Nature, Lond.*, **174**, 549, 1954.
[29] MAHLER, W. et BURG, A. B. *J. Amer. chem. Soc.*, **80**, 6161, 1958.
[30] MICHAELIS, A. et SCHROETER, G. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **27**, 490, 1894.
[31] CRAIG, D. P., MACCOLL, A., NYHOLM, R. S., ORGEL, L. E. et SUTTON, L. E. *J. chem. Soc.*, 332, 1954.
[32] CRAIG, D. P. *Ibid.*, 997, 1959; dans «Theoretical Organic Chemistry», p. 20, Butterworth, Londres, 1959; *Chem. Soc. spec. Publ. No.* 12, p. 343, 1958; CRAIG, D. P. et PADDOCK, N. L. *Nature, Lond.*, **181**, 1052, 1958.
[33] CRAIG, D. P. et MAGNUSSON, E. A. *J. chem. Soc.*, 4895, 1956.
[34] NARATH, A., LOHMAN, F. H. et QUIMBY, O. T. *J. Amer. chem. Soc.*, **78**, 4493, 1956.
[35] BEZMAN, I. I. Mémoire présenté à la 136e Assemblée Nationale de l'American Chemical Society. Septembre 1959.
[36] HASZELDINE, R. N. et SMITH, F. *J. chem. Soc.*, 603, 1951.

L'accroissement de la matière cosmique sur la Terre

par H. PETTERSSON

Des échantillons sous-marins recueillis au cours de l'expédition du *Challenger* en 1872–76, et des analyses effectuées à la même époque sur la neige de l'Arctique, ont démontré l'accroissement de la matière cosmique sur la Terre. Ce n'est qu'assez récemment, cependant, qu'il a été possible d'obtenir des échantillons suffisants, correspondant à des périodes géologiques d'une durée considérable, permettant d'évaluer, à la fois dans le temps et dans l'espace, la variation des chutes de matière d'origine cosmique.

Dès 1874, A. E. Nordenskiöld, géologue et explorateur suédois—célèbre pour avoir accompli le Passage Nord-Est à bord de la *Vega* en 1878–80 — décrivait à l'Académie Royale des Sciences de Stockholm [1] l'étude qu'il avait effectuée sur des échantillons de neige tombée aux environs de la ville au cours du mois précédent. Il en avait extrait une petite quantité d'une poudre magnétique foncée qui se révéla contenir du fer métallique. Par la suite, au cours d'expéditions dans l'Arctique, il put obtenir une substance semblable à partir d'autres échantillons de neige vierge: l'analyse indique la présence, non seulement de fer, mais également de phosphore, de cobalt et probablement de nickel. Nordenskiöld émit l'opinion que cette substance magnétique était d'origine cosmique. Plus tard, au cours d'une étude plus détaillée [2], il tenta d'évaluer la quantité totale de poussière cosmique tombant à la surface de la Terre et indiqua dans ses conclusions que cette quantité devait être comprise entre un demi-million et un million de tonnes par an.

Deux ans environ après l'exposé original de Nordenskiöld, John Murray — qui venait de rentrer en Angleterre dès la fin du fameux périple du *Challenger* — décrivait les dépôts sous-marins qui avaient été recueillis au cours de l'expédition. Il indiquait que l'on pouvait extraire de petites sphérules magnétiques de ces dépôts sous-marins et de nodules de manganèse recueillis à grande profondeur et pulvérisés. Etant donné que les surfaces externes de ces particules étaient absolument semblables à celles des météorites ferreuses, et que l'analyse révéla qu'elles contenaient du fer métallique, Murray n'hésita pas à les nommer «sphérules cosmiques» [3, 4]. Il pensait qu'elles provenaient de météorites ferreuses dont la surface avait fondu par suite du frottement dans l'air. Les gouttelettes de fer, rapidement solidifiées, seraient tombées dans la mer et par la suite se seraient déposées au fond; étant donnée leur vitesse très réduite d'accumulation, les dépôts sous-marins offrent une occasion unique d'obtenir en abondance ces sphérules cosmiques. Dans un litre environ de dépôt d'argile rouge, Murray put recueillir de vingt à trente sphérules, de diamètre variant, pour la plupart, entre 0,25 et 0,03 mm, certaines étant même plus petites.

Ainsi, les travaux de Nordenskiöld et de Murray, il y a près de quatre-vingts ans, démontraient à la fois l'accroissement de la matière cosmique sur la Terre et attiraient en même temps l'attention sur deux sources importantes de particules, les neiges de l'Arctique et les dépôts sous-marins. Aucune de ces deux sources, cependant, n'est facilement accessible, ce qui a retardé les recherches ultérieures. En organisant l'Expédition suédoise de haute mer sur l'*Albatross* [5] en 1946, j'ai attaché une grande importance à l'étude des particules magnétiques dans les dépôts sous-marins [6]. Grâce à l'ingénieuse réalisation du «carottier à piston» de B. Kullenberg [7], nous avions à bord un moyen de remonter des grandes profondeurs des carottes en bon état atteignant, et parfois dépassant, une longueur de 15m. La figure 3 représente des sections d'une grande carotte extraite de sédiments en Méditerranée orientale.

La très faible vitesse de développement de certains dépôts sous-marins rend possible l'évaluation de l'accroissement au cours des époques antérieures. Dans certaines régions, les dépôts au fond ne se développent qu'à la vitesse de 1 à 2 mm par millier d'années: les grandes carottes que l'on peut obtenir à l'heure actuelle représentent 6 à 15 millions d'années de dépôts. En mesurant la concentration des sphérules cosmiques dans les couches successives de la carotte, nous pouvons

évaluer directement l'accroissement à partir du Tertiaire supérieur.

Pour réaliser cette évaluation, il était nécessaire cependant de mettre au point une méthode d'extraction des sphérules moins sommaire que celle utilisée par Murray: ce dernier se contentait simplement d'agiter une suspension aqueuse de sédiment avec un petit aimant permanent. Afin d'obtenir une séparation plus efficace, j'ai réalisé l'acquisition d'un séparateur électromagnétique puissant, dont les parties essentielles se composent d'une série de tamis circulaires en fer doux, disposés autour d'un électro-aimant fonctionnant sur 10 ampères. Des échantillons pesés du sédiment sont mélangés à un excès d'eau et passés trois fois à travers le tamis aimanté. Le courant une fois coupé, les particules sont détachées et recueillies, puis triées selon leurs dimensions (>250 μ, 250–60 μ, 60–30 μ et <30 μ) au moyen de tamis à mailles de laiton. Les particules ainsi isolées sont examinées au microscope et celles dont l'origine cosmique est indubitable sont dénombrées [8]. La teneur en nickel des sphérules peut être considérée comme un critère valable indiquant leur origine cosmique. On a démontré récemment [12] que les rapports Ni/Fe, Ni/Co et Ni/Cu des sphérules provenant des dépôts sous-marins concordent avec les valeurs correspondantes établies pour les météorites ferreuses. Des expériences de contrôle, ont démontré que la méthode d'extraction présentait une efficacité d'environ 95%.

En utilisant cette méthode, élaborée en détail par mon collaborateur K. Fredriksson du Service Géologique Suédois de Stockholm, nous avons découvert un nombre étonnamment élevé de sphérules cosmiques caractéristiques dans les sédiments sous-marins, particulièrement dans une argile rouge homogène recueillie à grande profondeur dans la région équatoriale du Pacifique [9]. Leur nombre variait entre une centaine et plusieurs milliers par kilogramme de sédiment, c'est-à-dire qu'il s'est révélé de dix à cent fois supérieur à celui obtenu par Murray d'après les échantillons d'argile rouge recueillis au cours de l'expédition du *Challenger*.

Indépendamment du critère fourni par leur teneur en nickel, l'origine cosmique des sphérules découvertes dans les dépôts marins éloignés des continents ne saurait faire de doute. On ne peut en dire autant, cependant, des sphérules magnétiques qui, au cours des dernières années, ont été recueillies en nombre extrêmement élevé directement dans l'atmosphère, en particulier par les chercheurs des Etats-Unis. Il semble qu'il y ait là contamination par résidus industriels, notamment les petites sphérules de fer libérées au cours des opérations de soudage; le vent peut transporter ces particules sur de grandes distances. Si l'on recueille des échantillons d'air, il faut choisir des régions aussi écartées que possible de toute activité industrielle, de préférence dans des îles éloignées. A l'instigation de l'auteur, on a commencé à effectuer de tels prélèvements d'échantillons dans certaines îles du Pacifique (voir plus loin), mais on ne peut espérer obtenir des résultats détaillés avant plusieurs années. Des prélèvements d'échantillons de poussière cosmique atmosphérique ont été récemment entrepris très sérieusement par les chercheurs britanniques [11].

En employant un micro-analyseur à rayons X construit par R. Castaign à Paris, Fredriksson a soumis à une analyse détaillée les parties des sphérules isolées (figure 5), obtenues au cours de l'expédition de l'*Albatross* [13]. Celle-ci a révélé que, tandis que le noyau métallique de l'une des sphérules était formé de 68,6% de Fe, 29,8–31,6% de Ni et 1,5% de Co, le noyau d'une autre contenait 44,4% de Fe, 53,5% de Ni et 1,8% de Co.

Les conclusions générales suivantes ressortent de nos recherches sur les sédiments marins:

1) Tous les échantillons étudiés révèlent la présence de sphérules cosmiques en nombre très variable, mais supérieur à celui indiqué par Murray. En règle générale, ce nombre est compris entre cent et deux mille par kilogramme.
2) La variation de ce nombre dépend à la fois de la situation géographique et de la profondeur sous la surface des sédiments, c'est-à-dire de l'âge de la couche. En général, le nombre de sphérules est plus élevé dans les sédiments plus récents. Néanmoins, un nombre important de sphérules a pu être découvert dans des couches de l'époque tertiaire: ce fait est en contradiction avec l'opinion exprimée par certains auteurs selon laquelle aucune météorite n'est tombée sur la Terre pendant cette période [14]. Les figures 1 et 2 montrent une comparaison entre la fréquence des sphérules dans des dépôts provenant respectivement du centre et de l'ouest du Pacifique.
3) Les variations considérables constatées dans la concentration des sphérules dans les différentes couches peuvent s'expliquer par la répartition très irrégulière des chutes de météorites sur la surface de la Terre.

L'examen de la concentration moyenne des sphérules dans les sédiments les plus récents rend

possible l'évaluation de la vitesse actuelle d'accroissement. Nos calculs indiquent une chute annuelle de 1 000 à 5 000 tonnes.

En principe, l'analyse des carottes sous-marines de grande longueur nous permet de déterminer la fréquence des chutes de météorites sur la Terre au cours des quelques derniers millions d'années. Bien que le matériel soit actuellement trop limité pour une réalisation effective, l'intensification de la recherche océanographique, en particulier aux Etats-Unis, nous permet d'espérer que cette difficulté pourra être rapidement surmontée. Inversement, une fois les données nécessaires établies, la fréquence des sphérules peut servir à dater les différentes couches des carottes. Des chutes de météorites très intenses dans le passé — telles que la célèbre «avalanche de météorites» (*meteor blizzard*) du 13 novembre 1833 (figure 4) — ont dû laisser des traces caractéristiques dans les sédiments.

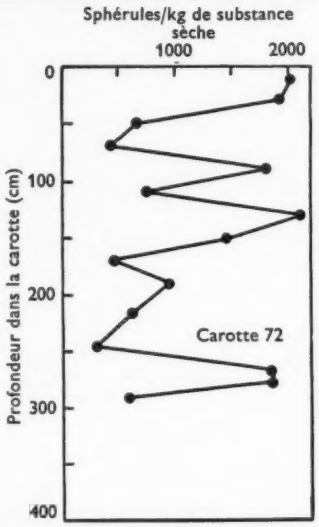


FIGURE 1 – *Répartition des sphérules en fonction de la profondeur dans une carotte provenant du Pacifique central.*

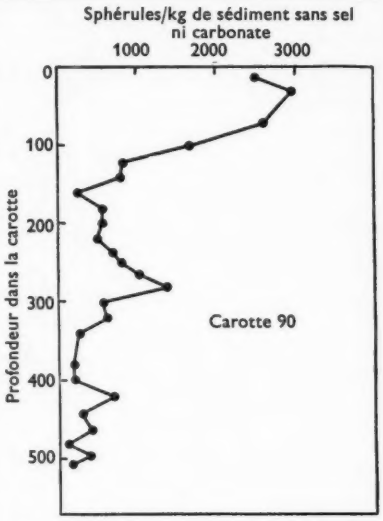


FIGURE 2 – *Répartition des sphérules en fonction de la profondeur dans une carotte provenant du Pacifique ouest.*

Une telle méthode de datation pourrait également être employée par des savants travaillant dans les régions polaires pour estimer la vitesse de formation de la glace dans le passé en utilisant de la glace provenant de sondages. S'il est possible de réaliser le Projet de «Mohole» [19] qui envisage un forage profond à travers les sédiments de l'océan jusqu'aux roches du substratum, la même méthode nous permettrait d'évaluer la fréquence des chutes de météorites depuis l'époque de la formation des océans.

VITESSE D'ACCUMULATION DE LA POUSSIÈRE COSMIQUE

De beaucoup la plus grande partie des météorites arrivant sur la Terre se dissipent dans l'atmosphère sous forme de fine poussière qui se dépose lentement. Hormis les estimations sommaires avancées par Nordenskiöld et les autres, aucune mesure du poids total de cette poussière n'a été effectuée. Nous possédons deux moyens valables d'obtenir ce renseignement, à savoir: l'étude des dépôts marins et l'étude des poussières en suspension dans l'air.

En 1950, l'auteur, d'accord avec H. Rotschi [17], a émis l'hypothèse selon laquelle la teneur en nickel relativement importante des échantillons de sédiment du Pacifique pourrait être due à la poussière météoritique. Les déterminations du nickel dans les carottes extraites du fond de l'océan au cours de l'expédition de l'*Albatross* ont été effectuées par G. R. Berrit et H. Rotschi [15] à l'aide de méthodes chimiques, et par S. Landergren [16] par un procédé spectrographique. Les roches volcaniques continentales n'ont qu'une teneur moyenne en nickel de 0,008%; l'eau de l'océan n'en contient que 10^{-8}%, près de 500 fois moins que de fer. Les analyses d'échantillons sédimentaires indiquent des teneurs en nickel très variables, mais relativement élevées, comprises entre 0,044 et presque 0,1%.

La vitesse d'accumulation de la poussière météoritique sur la Terre peut se calculer d'après les résultats du passage de volumes d'air considérables au travers de filtres à pores fins, à haute altitude. Ayant occupé la chaire de recherche géophysique à l'Université d'Hawaï, j'ai eu l'occasion de commencer de telles recherches en 1957; cette étude s'est également révélée intéressante, au point de vue des quantités de Sr^{89} et Sr^{90} contenues dans l'air, pour la Commission de l'Energie Atomique des Etats-Unis. Les observations ont été effectuées à deux observatoires de haute altitude facilement accessibles par air depuis Honolulu; l'un est situé à 3 200 m sur l'île de Maui, et l'autre à 3 600 m au sommet du volcan éteint Mauna Loa (Hawaï). L'appareillage comprenait essentiellement des

FIGURE 3 – *Sections supérieures d'une carotte provenant de la Méditerranée et divisée en fractions d'une longueur maximale de 70 cm. Les couches de cendre volcanique sont indiquées par des flèches.*

FIGURE 4 – *Chute de météorites du 13 novembre 1833.*

FIGURE 5 – *Sphérule à noyau métallique montrant la cupule caractéristique.* (*Compte rendu* Challenger.) (×250)

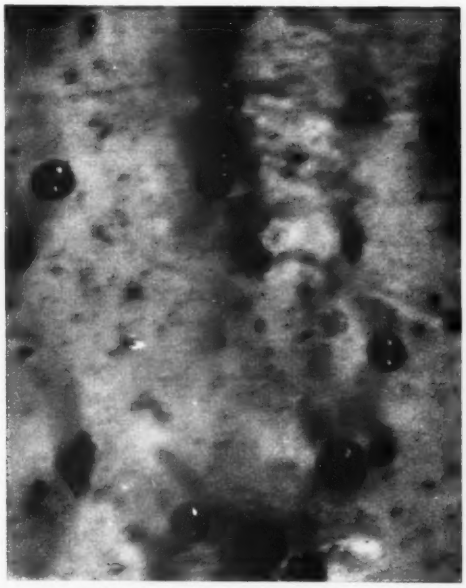


FIGURE 6 – *Sphérules cosmiques provenant de dépôts du Pacifique ouest.* (×400)

ventilateurs mus électriquement qui forçaient le passage de volumes d'air mesurés à travers des filtres fins. Les résultats fournis par la première année de travaux sont, en résumé, les suivants:

La plupart des filtres ont recueilli des quantités appréciables de nickel, en moyenne 14,3 µg pour 1 000 m³ d'air. Si l'on suppose que la teneur moyenne en nickel de la poussière météoritique est de 2,5% [18], il s'ensuit que la teneur en poussière cosmique de 1 000 m³ d'air est de 0,6 mg. Certaines hypothèses doivent être établies si nous voulons en outre évaluer le poids total de poussière cosmique tombant chaque année sur la Terre: elles sont en rapport avec la vitesse nécessaire à la poussière pour tomber de l'altitude 90 km où la plupart des petites météorites se dispersent, jusqu'à l'altitude 3 km où la poussière a été prélevée. Les hypothèses les plus plausibles conduisent à la conclusion que la vitesse annuelle d'accumulation de la poussière cosmique est de 5 millions de tonnes. Ce résultat est bien supérieur à l'évaluation de Nordenskiöld ($\frac{1}{2}$–1 million de tonnes), mais néanmoins du même ordre de grandeur. F. G. Watson [18] évalue le poids total des météorites pénétrant chaque année dans notre atmosphère à 3,65 millions de tonnes. Ces calculs indiquent que l'accroissement de la poussière cosmique à la surface de la Terre est environ mille fois supérieur à l'accroissement des sphérules cosmiques.

Si nous acceptons le chiffre de 5 millions de tonnes comme estimation raisonnable de l'augmentation annuelle totale de la poussière cosmique, il s'ensuit qu'en moyenne chaque centimètre carré de la surface de la Terre en reçoit chaque année 0,001 mg. Dans un millier d'années, le poids total par centimètre carré serait de 1 mg, dont, en moyenne, 0,025 mg de nickel. Ces chiffres concordent bien dans l'ensemble avec ce que nous savons de la teneur en nickel des dépôts marins. Le poids d'argile rouge qui se dépose en un millier d'années par centimètre carré est d'environ 150 mg, et nous devrions prévoir une teneur de 0,016% de nickel. En fait, c'est environ le tiers de la teneur en nickel déterminée par Rotschi dans les sédiments du Pacifique.

Des recherches préliminaires sur la présence de sphérules cosmiques dans la partie supérieure d'une carotte prélevée au centre du Pacifique, ont été effectuées [20]: les résultats en ont été examinés par E. J. Öpik [21]. Ce dernier a émis l'opinion que les sphérules provenaient du nuage zodiacal dont les particules se sont fondues en gouttelettes de fer-nickel sous l'influence de la chaleur du frottement dans l'atmosphère. Öpik soutient notre point de vue selon lequel l'excès de nickel dans les dépôts marins est d'origine cosmique.

E. G. Bowen [23] a suggéré que les pluies très abondantes se produisant dans le monde entier à certaines époques sont en relation avec des retombées de poussière provenant des plus hautes couches de l'atmosphère à la suite de fortes chutes de météorites, avec une trentaine de jours de décalage. Les particules de poussière fourniraient des noyaux pour la condensation de la vapeur d'eau. Si la poussière météoritique a en réalité une telle influence sur les pluies, il est évident que de fortes chutes de météorites peuvent produire des effets de grande envergure sur le climat. On pense également que la poussière météoritique a une influence sur les nuages luminescents vers l'altitude de 100 km [24].

BIBLIOGRAPHIE

[1] NORDENSKIÖLD, A. E. *Övers. Kgl. vet. Akad. Förh.* No. 1, 1874. Stockholm.

[2] *Idem.* «Studier & Forskningar i Höga Norden», p. 185, Stockholm. 1883.

[3] MURRAY, J. *Proc. roy. Soc. Edinb.*, **9**, No. 96, 247, 1876–77.

[4] MURRAY, J. et RENARD, A. F. *Challenger Rep.*, **4**, 327, 1891.

[5] PETTERSSON, H. *Endeavour*, **8**, 182, 1949.

[6] *Idem. Rep. Swed. Deep-Sea Exped.*, **1–4**, 1952–57.

[7] KULLENBERG, B. *Ibid.*, **1**, 35, 1955.

[8] PETTERSSON, H. «Festskrift T. E. Jansson Broström», Gœteborg, mai 1955.

[9] PETTERSSON, H. et FREDRIKSSON, K. *Pacif. Sci.*, **12**, 71, 1958.

[10] FREDRIKSSON, K. *Univ. Goth. astron. Notes*, 21, 1958.

[11] PARKIN, D. W. et HUNTER, W. *Nature, Lond.*, **183**, 732, 1959.

[12] SMALES, A. A., MAPPER, D. et WOOD, A. J. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **13**, 123, 1958.

[13] CASTAIGN, R. et FREDRIKSSON, K. *Ibid.*, **14**, 114, 1958.

[14] PANETH, F. A. «Vistas in Astronomy», Vol. II, p. 1686, 1956.

[15] BERRIT, G. R. et ROTSCHI, H. *Rep. Swed. Deep-Sea Exped.*, **6**, 53, 1956.

[16] LANDERGREN, S. *Ibid.*, **7**, 125, 1954.

[17] PETTERSSON, H. et ROTSCHI, H. *Nature, Lond.*, **166**, 308, 1950.

[18] WATSON, F. G. «Between the Planets» (2e édition), p. 151. Harvard University Press. 1956.

[19] BASCOM, W. *Nat. Res. Council. Publ.*, 717, 1959.

[20] LAEVASTU, T. et MELLIS, O. *Trans. Amer. geophys. Un.*, **36**, 385, 1955.

[21] ÖPIK, E. J. *Irish astr. J.*, **14**, 116, 1956.

[22] SMALES, A. A. et WISEMAN, J. D. H. *Nature, Lond.*, **175**, 464, 1955.

[23] BOWEN, E. G. *Ibid.*, **177**, 1121, 1956.

[24] MILLMAN, P. M. *J. geophys. Res.*, **64**, 2122, 1959.

La culture de variétés nouvelles d'arbres fruitiers

par W. WILLIAMS et A. G. BROWN

La sélection de plantes cultivées améliorées a été de tous temps un des importants aspects de l'agriculture. Si les méthodes empiriques d'autrefois donnèrent un grand nombre de réussites notoires, les méthodes scientifiques actuelles sont beaucoup plus rapidement productrices. Cet article discute quelques-uns des principaux facteurs impliqués dans les programmes de culture moderne, avec étude particulière des arbres fruitiers.

Dès l'apparition de communautés établies, on a essayé d'améliorer les plantes cultivées par une reproduction sélective. Dans les temps modernes, l'exploitation systématique d'un grand nombre d'espèces cultivables est arrivée à être considérée comme un élément essentiel du progrès de la civilisation. Naturellement, la plus grande attention s'est axée sur les plantes qui jouent le plus grand rôle dans l'alimentation humaine. Toutefois, les plantes cultivées pour leurs fruits charnus se placent rarement dans cette catégorie et, avec quelques exceptions, en particulier la banane leur contribution aux aliments riches en énergie par unité de poids frais est faible.

Les fruits provenant d'arbres des régions tempérées — pomme, poire, cerise, prune et pêche — ne peuvent être considérés que comme des produits de luxe qui servent principalement à apporter quelque variété dans le boire et le manger des communautés dont les besoins diététiques fondamentaux sont déjà convenablement satisfaits. C'est pourquoi il n'est pas surprenant que des qualités esthétiques de goût et d'aspect revêtent une importance bien plus grande dans la recherche des fruits améliorés que dans celle de la plupart des autres récoltes alimentaires (figure 2).

Le procédé de production des formes améliorées de plantes cultivées est essentiellement une sélection d'individus ayant les combinaisons voulues de gènes et leur multiplication consécutive pour culture sur grande échelle. Puisque les arbres fruitiers se reproduisent végétativement, les problèmes de la réussite de leur uniformité et de leur stabilité génétique, communs à tout ce qui a un mode de reproduction sexuée, ne se posent pas; des variétés représentées par n'importe quel nombre de génotypes pratiquement identiques peuvent se développer à partir d'individus isolés fortement hétérozygotes. Ainsi les avantages qui suivent le maintien d'un niveau maximum d'hybridité dans des espèces se reproduisant naturellement peuvent être utilisés à la fois facilement et complètement dans de nouvelles sélections. A cause de leur nature hybride, certaines variétés d'arbres fruitiers (avec l'exception possible de certains pêchers) ne se reproduisent pas régulièrement et les rejetons obtenus par auto-pollination et pollination croisée présentent un extraordinaire étalage d'individus dissemblables. Tous les essais pour produire des lignées homozygotes de comportement reproducteur connu, même s'ils sont considérés souhaitables, sont écartés par la longueur du cycle de génération qui varie de cinq ans chez le cerisier jusqu'à quinze ans chez le pommier et le poirier. Toutefois, il est heureux que le comportement de reproduction des lignées parentales fortement hétérozygotes soit quelque peu prévisible quant aux caractères mesurables ayant un faible taux de dominance génétique: les valeurs moyennes des progénitures gravitent assez régulièrement autour des moyennes des deux parents. En pratique, si l'on considère un grand nombre de croisements, des déviations affectant sérieusement les prédictions basées sur les rapports entre moyennes de rejetons et de leurs antécédents, ne se produisent pas. Le choix des parents pour réussir une combinaison donnée de caractères peut être limité à un très petit nombre qui justifie les efforts impliqués dans l'hybridisation et la sélection.

IMPORTANCE FAMILIALE OPTIMALE POUR CULTURE SÉLECTIVE

Du fait de la large gamme de variation qui résulte du croisement de parents hétérozygotes, même quand ils sont très soigneusement sélectionnés, il n'y a relativement que peu d'individus qui expriment un caractère donné à un niveau acceptable. Quand plusieurs caractéristiques, ce

qui arrive généralement, sont sélectionnées dans la combinaison, la fréquence des types désirables parmi la progéniture diminue progressivement. Quoique la plupart des travailleurs soient d'accord que la taille des familles doit être grande pour réussir la sélection dans ces circonstances, les estimations sur la grandeur familiale optimale ont autrefois résulté principalement de simples suppositions. Les nombres considérés comme nécessaires ont, au cours des années, augmenté, mais paraissent récemment s'être fixés entre 1 000 à 2 000 plants par famille. Toutefois, des estimations récentes basées sur un grand nombre de résultats expérimentaux montrent que de telles nombres sont encore beaucoup trop bas.

Le nombre de descendants désirables qu'on peut escompter comme le principal objectif d'un programme de culture de pommes pour des caractères polygéniquement contrôlés est rarement moins de 40% du total [1]; pour chaque caractère supplémentaire définissable, le chiffre diminue rapidement. Les véritables nombres se séparant dans chaque classe dépendront clairement du croisement particulier et des standards de sélection appliqués, mais une estimation raisonnable basée sur cinq points — résistance au mildiou, taille des fruits, saison de la maturité, saveur, et couleur de la peau — seraient respectivement de 40, 20, 20, 10 et 10%. Supposant une répartition indépendante de ces caractères dans la progéniture, des familles de 6 250 plants pourraient en moyenne donner une plante individuelle possédant une combinaison des cinq caractéristiques à un niveau acceptable d'expression, et au moins un individu désirable apparaîtrait au hasard dans approximativement deux sur trois familles. Sur cette base, les buts de la sélection échoueraient dans une sur trois familles; ceci paraît un niveau tolérable d'échec. Si la fréquence de réussite doit augmenter de deux dans chacune des trois familles à un niveau de, disons, dix-neuf sur chaque vingtaine de familles, la taille de la famille doit être portée à 18 750 d'après la formule $\{(N-1)/N\}^n = 1/20$ où $(N-1)/N$ est la fraction rejetée de la famille.

Toutefois, l'importance de la grandeur des familles dans les arbres fruitiers ne s'arrête pas là. Des caractères définissables, tels que ceux donnés, ne sont pas uniquement en cause pour déterminer le succès des récoltes présentant des qualités esthétiques. En plus, il y a des considérations purement subjectives, et celles-ci décident fréquemment du succès ou non d'une sélection. En conséquence, s'il doit y avoir une chance raisonnable de succès final on doit disposer d'un certain nombre de sujets exprimant bien les caractéristiques définissables et, à partir de ceux-ci, le choix final pourra se faire. D'après l'hypothèse que cinq types représentent un nombre adéquat à partir duquel se fait la sélection, et que la probabilité d'échec repose dans une famille sur trois, la famille adéquate se composerait de 31 250 individus [2]. Comme dans la plupart des estimations impliquées dans des processus biologiques, ce nombre doit être interprété avec souplesse, mais toutes les preuves expérimentales considérables qui l'étayent indiquent que des nombres de cet ordre doivent être envisagés dans un programme avisé de culture.

Observer 30 000 semis est une tâche énorme dans toute culture. Dans les espèces ligneuses comme les arbres fruitiers, il est pratiquement impossible de le faire, si les semis doivent être contrôlés jusqu'au stade adulte. C'est pourquoi il faudrait mettre au point des méthodes qui permettraient de réduire les grandes familles à des proportions maniables dans les premiers stades du développement.

RÉSISTANCE À LA MALADIE

Un domaine de la culture végétale qui se prête généralement à la sélection efficace au stade semis est la reproduction de plantes résistant à la maladie (figure 5). Une des plus graves maladies des arbres fruitiers en Angleterre est la gale du pommier, provoquée par le champignon *Venturia inaequalis*. Il a été possible de constater une résistance à cette maladie parmi plusieurs sortes de pommiers de l'espèce *Malus*, à savoir *M. prunifolia*, *M. zumi calocarpa*, *M. atrosanguinea*, *M. floribunda*, ainsi que *M. pumila*, espèce à laquelle appartiennent les pommes cultivées [3]. Chez la *Malus floribunda*, la résistance est conditionnée par un gène dominant unique. Une forme dominante de résistance, puisqu'elle s'exprime en hétérozygotes, permet à ce caractère de se transmettre de génération à génération sans avoir à ré-isoler le génotype homozygote au cours des programmes de transfert, ainsi qu'il est nécessaire avec des caractéristiques conditionnées par des gènes récessifs. Il a été ainsi possible, par croisement en retour, de transférer assez rapidement la résistance de la *Malus floribunda* aux gènes fondamentaux de la pomme cultivée. Les sélections de la progéniture de la troisième génération de croisement en retour qui associent l'immunité aux *Venturia* à plusieurs des qualités désirables dans une pomme de dessert (figure 3) sont déjà disponibles.

La prévention de la maladie par la sélection est une lutte entre la variabilité de l'hôte et la variabilité du parasite. Dans plusieurs cas de sélection pour résistance à la maladie, dès qu'une nouvelle forme de plante-hôte avait été découverte et utilisée pour la production, une race de parasite qui jusqu'alors avait été extrêmement rare (ou même n'existait pas) attaquait dans des proportions d'épidémie et la variété d'hôte nouvellement sélectionnée se révélait aussi sensible que le type originel. Les phénomènes les plus spectaculaires de ce genre que l'on connaisse se sont vus avec la résistance au *Phytophthora infestans* (brunissure de la pomme de terre [4]) et au *Puccinia graminis* (nielle de la tige des céréales [5]). Plusieurs facteurs entrent dans la réaction entre hôte et parasite, mais celui qui se rapporte le plus à la culture végétale et à la génétique est la capacité de certaines races de parasites de surmonter la résistance à l'infection et à la sporulation présentée par des génotypes qui sont autrement résistants. L'action d'une mutation génique est fondamentalement une modification unique assez simple dans le chimisme du métabolisme cellulaire. Ceci a été établi dans une large gamme d'organismes et, dans le cas qui nous occupe, s'applique également à la fois à l'hôte et au parasite. Les mécanismes de résistance basés sur des modifications d'un seul gène dans l'hôte peuvent, dans ces circonstances, être simplement neutralisés par des modifications correspondantes dans le métabolisme du parasite. C'est pourquoi il est clair que la résistance de la pomme de culture à l'égard de *Venturia inaequalis* — fournie par le gène dominant unique provenant de la *M. floribunda* — pourrait toutefois se révéler comme temporaire, même au cas où la nouvelle variété n'aurait montré auparavant aucune tendance à la sensibilité dans des conditions très diverses.

Les génotypes possédant plusieurs gènes responsables de leur résistance — agissant soit indépendamment, soit selon un système additif—présentent une barrière beaucoup plus complexe au parasite. Heureusement, certaines variétés cultivées de pommes sont connues pour posséder de tels mécanismes polygènes pour la résistance à la gale. En particulier, les variétés Antonovka, originaires de Russie, se sont révélées très résistantes à la gale et utiles comme parents pour la reproduction. La démonstration que des variétés très sensibles de pommes anglaises de bonne qualité, comme les *Cox's Orange Pippin* et les *Worcester Pearmain* donnent un faible pourcentage de génotypes résistants dans les croisements, est d'un grand intérêt. La fréquence des espèces séparées résistantes dans la progéniture des croisements entre de tels types sensibles est approximativement de un pour cent, et un très grand nombre de semis doivent pour cela être essayés de manière à obtenir un nombre satisfaisant de semis résistants pour la sélection initiale. Cette approche du problème de la résistance à la gale, outre qu'elle fournit une protection multiple contre de nouvelles races de maladie, évite aussi le rétro-croisement répété nécessaire quand de petites espèces de fruits à chair très astringente (par exemple, *Malus floribunda*) sont employées comme source de résistance.

AUTO-FÉCONDATION

Pour la reproduction de types de fruits résistant aux maladies, dont il est question ici, il s'agit simplement d'incorporer des gènes qui sont phénotypiquement acceptables par rapport à d'autres qualités désirables. Toutefois, il arrive occasionnellement qu'une forme désirée de variation n'existe pas ou qu'on ne sache pas qu'elle existe parmi soit les formes sauvages, soit les formes cultivées de l'espèce. Telle était la situation jusqu'à très récemment chez la cerise douce *Prunus avium* sur le plan de l'auto-fécondation. Toutes les variétés existantes de cerises douces sont auto-incompatibles et le système d'incompatibilité est gouverné par une série d'allèles dans une zone spéciale des chromosomes qui a été symbolisé comme le lieu «S». Au premier chef, le système dépend de l'inhibition des tubes de pollen dans les styles qui transportent un allèle-S commun au pollen et au style. Le système S d'incompatibilité est commun à de nombreuses espèces appartenant à plusieurs familles différentes de plantes. Dans l'espèce *Nicotiana* et dans le *Trifolium pratense*, la mutation spontanée à l'allèle S_f d'auto-fécondation est connue depuis longtemps. Depuis que Muller en 1927 a montré que la vitesse de mutation pouvait être accélérée par traitement aux rayons X, il a été réalisé que la mutation du type $S_{1 \ldots n}$ à S_f pouvait être provoquée par des agents mutagènes. D. Lewis [6], dans des tests préliminaires sur une espèce de primevère (*Oenothera organensis*) a montré que la vitesse de mutation S_f était nettement accrue après irradiation des anthères par les rayons X. Du fait de l'efficience infaillible du style qui agit comme un tamis contre les grains de pollen incompatibles non-mutants, la mutation put être rattrapée même si le taux de mutation suivant un traitement avec une dose de 500 r de rayons X n'était que d'un pour 300 000 grains de pollen. La même

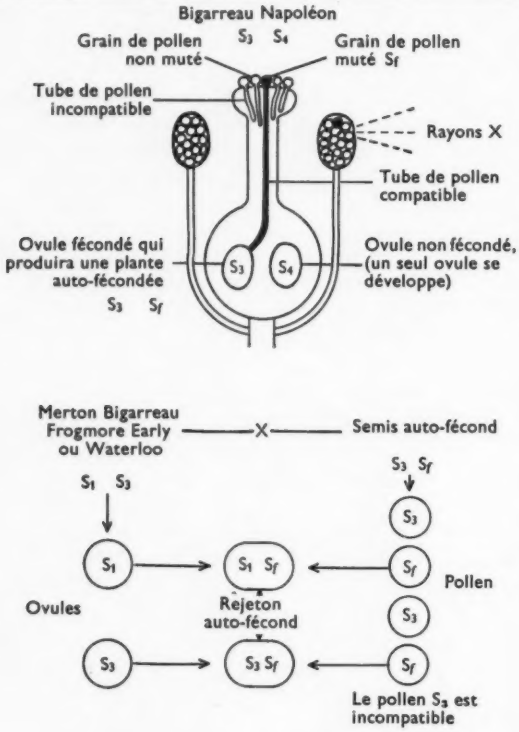


FIGURE 1 – *Deux stades de la reproduction de cerises auto-fécondées.*

technique appliquée à des variétés de cerises auto-incompatibles aboutit à la récupération de trois mutations indépendantes qui étaient auto-fécondes. La possibilité d'utiliser l'auto-fécondation comme moyen d'améliorer la régularité de la récolte de cerises a été maintenant comprise (figure 1) et des sélections très poussées, à la fois auto-fécondes et porteuses de fruits de qualité supérieure, sont, actuellement effectuées.

ASSOCIATION DE CARACTÈRES GÉNÉTIQUES

On a récemment exposé un autre aspect de l'importance du lieu-S dans l'amélioration de la cerise douce [7]. On a dit que les mutations de gènes provoquent une modification unique, relativement simple, dans le chimisme du métabolisme cellulaire. Toutefois, cela n'est probablement vrai que pour les étapes initiales se produisant proches du lieu du gène sur le chromosome. Plus loin dans la chaîne des réactions chimiques provoquées par le gène, la conséquence du changement unique devient plus compliquée et l'action d'une simple mutation peut fréquemment être observée sous de nombreux caractères différents sur diverses parties de l'organisme. Dans les plantes supérieures, une telle action des gènes est très difficile à distinguer de l'action génique indépendante à divers points très étroitement liés sur un petit segment du chromosome. Toutefois, dans le cas actuel, la distinction entre ces alternatives n'est pas importante. Ce sont les associations de caractères qui peuvent provenir de l'un ou de l'autre de ces mécanismes génétiques, ou des deux ensemble qui ont un intérêt immédiat. Une association frappante dans la cerise douce a été révélée entre certains allèles du lieu-S et les caractères phénotypiques généraux qui sont souhaitables dans les variétés améliorées. Une analyse des plus importantes variétés de cerises cultivées en Europe montre que 65% possèdent l'allèle S_3, 50% S_1 et 39% S_2, tandis que les membres restants de la vaste série des allèles à ce lieu se sont révélés très rares. Ceci montre qu'au cours du développement sélectif de la cerise douce à partir de l'espèce ancestrale sauvage, ces trois allèles ont subi un net avantage. Il a encore été montré que certaines combinaisons, en particulier S_1S_3 et S_1S_2 ont atteint des fréquences qui peuvent le mieux s'expliquer sur la base d'avantage sélectif opérant en faveur de génotypes particuliers indépendamment des allèles S qu'ils renferment.

La reproduction expérimentale chez les cerises confirme ces conclusions. Là où la sélection pour des formes améliorées a été pratiquée parmi des familles qui offrent une chance égale soit de sélectionner, soit de rejeter les individus renfermant S_3, l'individu sélectionné à partir de chacun des sept différentes progénitures a possédé S_3 comme un des allèles à ce lieu. La probabilité d'obtenir un tel résultat par chance est de huit fois pour mille familles. Ceci étaye sérieusement l'opinion que l'allèle S_3 lui-même, ou peut-être le segment chromosomique dans lequel est situé S_3, aurait quelque action cryptique sur les caractères qui ont été sélectionnés au cours de l'évolution de la cerise douce.

Un exemple également intéressant d'un caractère génétique apparemment neutre ayant une action décisive sur la sélection est fourni par la fréquence des allèles au «point blanc» dans la cerise. Ce point est caractérisé par deux allèles, l'un réceptif qui bloque la formation de chlorophylle et pour cela est mortel lorsqu'il est homozygote, l'autre dominant qui gouverne la formation de chlorophylle. L'allèle récessif se trouve dans 51,5% de toutes les variétés étudiées et, de ce fait, occupe 26% des positions disponibles à ce lieu.

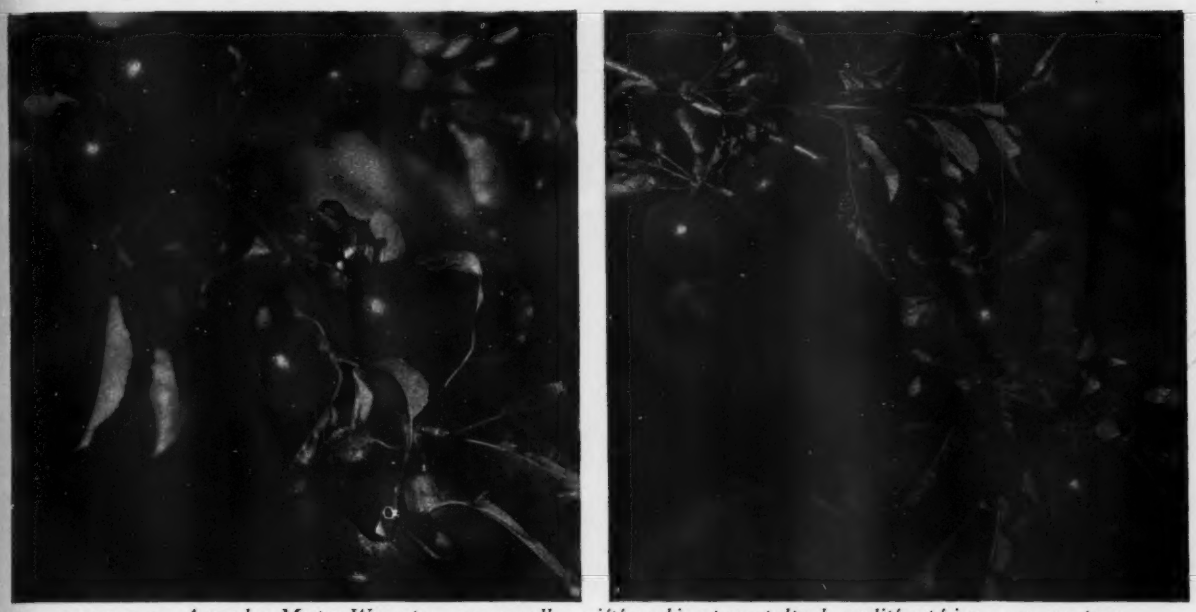


FIGURE 2 – *A gauche: Merton Worcester—une nouvelle variété combinant une pulpe de qualité supérieure avec une peau d'un rouge brillant. A droite: Merton Beauty—une nouvelle variété à pulpe aromatique.*

En cas d'accouplement fait au hasard et d'absence de sélection favorisant l'hétérozygote, une mutation mortelle récessive atteint l'équilibre avec son taux de mutation quand sa fréquence équivaut à la racine carrée du taux de mutation. De la connaissance des taux de mutation, il apparaît donc que l'allèle récessif au «point blanc» dans la cerise est bien au-dessus de son point d'équilibre. La seule conclusion satisfaisante qu'on en puisse tirer est que l'hétérozygote a été choisi de manière préférentielle au cours de l'évolution des formes cultivées de l'espèce.

La signification génétique de ces deux exemples est qu'ils démontrent l'absence de neutralité, au cours de la sélection des unités du système génétique et ainsi concentrent l'attention sur le rôle du génotype total comme unité fondamentale de sélection. D'autre part, le phénomène peut être utilisé pour la culture sélective des cerises. Le succès croissant dans la reproduction de nouvelles sortes de cerises douces peut être prévu si les progénitures à partir desquelles se fait la sélection représentent le génotype S_3 et sont hétérozygotes pour l'albinisme. Plusieurs exemples montrant le même type de réponse à la sélection parmi des séries similaires d'allèles sont connus dans d'autres fruits, en particulier chez la pêche *Prunus persica* [8].

EXPLOITATION DES NOUVELLES MUTATIONS

La plupart des mutations de gènes qui se trouvent à faible fréquence dans les populations naturelles ainsi que celles qui sont provoquées par des agents mutagènes contribuent peu à la phase récessive homozygote pour adaptation de l'individu à un temps donné quelconque. La rareté des allèles mutants est simplement une mesure de leur inutilité dans l'espèce pour sa survie pendant plusieurs générations. Les mutations qui sont gravement préjudiciables à la survie chez les plantes sauvages sont généralement et, pour les mêmes raisons, tout à fait inutiles pour l'amélioration de la récolte. Les mutations affectant les processus physiologiques fondamentaux telles que les mutations déficientes en chlorophylle, les divers types de mutations mortelles et semi-mortelles, et celles qui conditionnent des modifications morphologiques macroscopiques, appartiennent à cette catégorie. Il y en a d'autres qui ne sont pas gravement préjudiciables à la croissance et à la survie mais qui contribuent au succès de l'espèce seulement sous certaines conditions, telles que celles fournies par la culture. Les mutations qui conduisirent à l'évolution du type non-cassant de rachis dans les blés à pain, permettant ainsi au blé de se développer comme céréale de culture, sont des exemples typiques de ce genre de

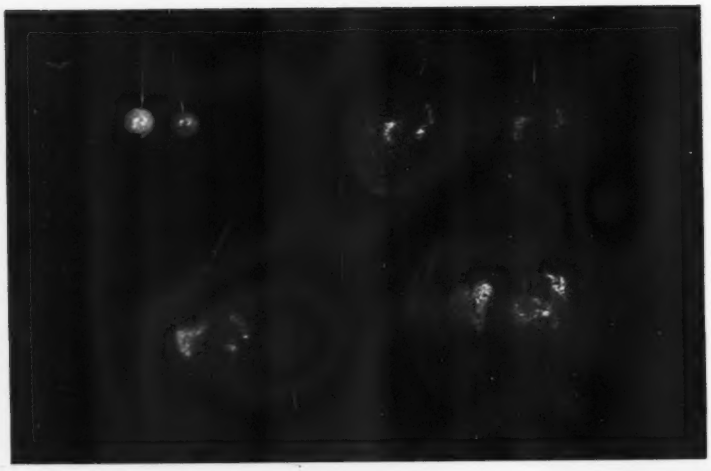
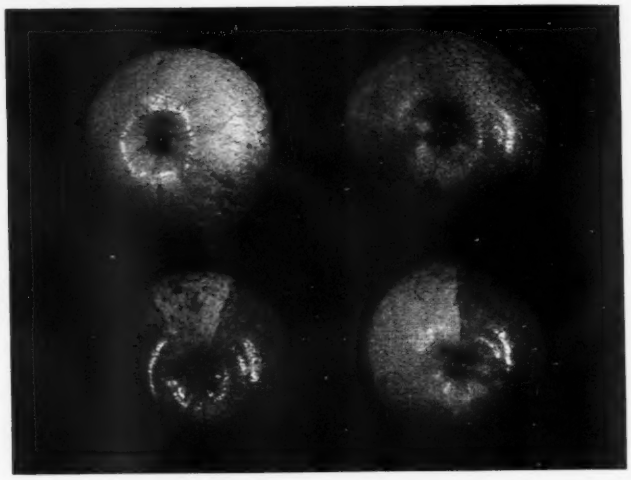


FIGURE 3 – *Les stades dans le transfert de la résistance à la gale du* Malus floribunda *à la pomme cultivée. En haut à gauche:* Malus floribunda. *En haut à droite:* (Malus floribunda × *Rome Beauty*) × (Malus floribunda × *Rome Beauty*). *En bas à gauche: F2 × Jonathan. En bas à droite: (F2 × Golden Delicious) × Jonathan.*

(a)



(b)

(d)

(c)

FIGURE 4 – *Types anormaux de bourgeons chez la pomme et la poire.* (a) *Mutation modifiant la couleur de la peau qui couvre la surface entière des fruits.* (b) *Mutations apparaissant comme des secteurs sur le fruit.* (c) *Mutation après traitement aux rayons X qui fait virer la peau du vert au roussâtre.* (d) *Mutation faisant passer la peau du roussâtre au vert.*

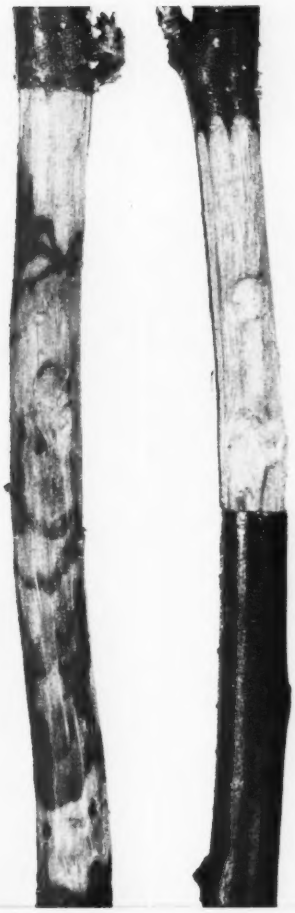


FIGURE 5 – *A gauche: Semis de pommes montrant la ségrégation de la résistance à la gale. A droite: Pousses de pommes infectées par le* Phytophthora cactorum, *ces types sensibles présentent des lésions brunes sous l'écorce.*

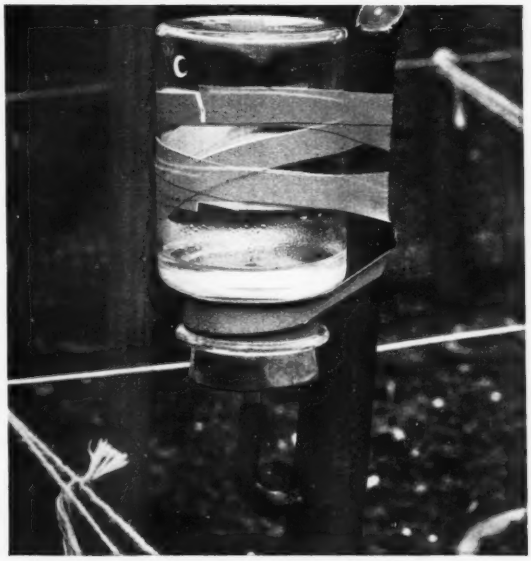


FIGURE 6 – *Injection de phosphore radio-actif* (P^{32}) *à un jeune pommier.*

FIGURE 7 – *Semis de cerises montrant la ségrégation des génotypes nains homozygotes. Résultats encourageants pour établissement de souches naines.*

mutation. D'autres à citer qui appartiennent à la même catégorie comprennent les mutations vers la stérilité mâle dans le maïs, la pêche et l'oignon ainsi que les mutations vers la parthénocarpie et l'absence de graines dans les formes cultivées de la banane [9]. Il est donc évident que même si la plupart des mutants sont à un certain degré nuisibles dans la plante sauvage, dans des conditions particulières où se trouvent les plantes cultivées il est possible d'utiliser à la fois les mutations naturelles et les mutations provoquées pour améliorer la récolte.

Des espèces vivaces se propageant par clones comme les arbres fruitiers se prêtent plus aisément que la majorité des plantes à l'exploitation de nouvelles mutations. Des secteurs mutants peuvent être relativement aisément détectés dans des plantes vivaces largement espacées et la propagation végétative permet la multiplication rapide de toute mutation utile. De plus, puisque la recombinaison génétique ne peut pas être aussi complètement exploitée dans l'espèce ligneuse à long cycles de génération comme dans les espèces annuelles ou bisannuelles, des méthodes pour déceler et provoquer des mutations somatiques viennent à propos dans l'amélioration de telles cultures. Il y en a déjà des exemples chez la pomme où des formes mutantes de variétés établies ont atteint une place économique considérable; dans certains cas (en particulier les variétés rouges de la pomme *Delicious*), les formes mutantes ont complètement remplacé la variété originale. La plupart des nouvelles formes isolées comme mutations somatiques dans les arbres fruitiers sont soit des mutations en couleur de peau [10] (figure 4) — par exemple les pommes *Delicious* rouges, *Crimson Bramley* et *Cherry Cox*, et la poire *Max Red Bartlett* — soit des mutations affectant la taille du fruit qui ont été obtenues par un doublage du nombre chromosomique, comme dans les formes tétraploïdes des poires *William* et *Fertility*. Toutes les mutations citées sont apparues spontanément sur la variété mère et leur isolement a été la conséquence d'une observation judicieuse.

MUTAGÈNES

Un essai plus concerté d'exploitation des

mutations somatiques est en cours depuis ces dernières années et des programmes établis pour augmenter leur vitesse d'apparition par utilisation d'agents mutagènes se déroulent actuellement dans le monde entier. Parmi les agents les plus efficaces pour augmenter la vitesse d'apparition des secteurs somatiques mutants, il y a les neutrons thermiques et les rayons X. Les rayons γ originaires du cobalt 60 et des sels radio-actifs injectés sont aussi utilisés (figure 6). Des pousses dormantes sont irradiées et il faut employer les techniques de propagation qui assurent le développement des plus jeunes primordia sur le matériel traité [11]. La fréquence de récupération des secteurs mutants est fonction de la taille du primordium au moment de l'irradiation; plus le primordium est petit, plus le nombre de mutants récupérés sera grand. Le succès dans ce domaine a été jusqu'ici limité, mais la variété uniformément rouge de pomme Cortland, isolée après irradiation aux neutrons thermiques, promet d'être bien supérieure à la variété originale [12].

L'apparition de secteurs modifiés après traitement aux mutagènes est généralement considérée comme la preuve que la mutation a été provoquée au cours du traitement. Dans les espèces à reproduction sexuée de vie brève, cette interprétation est incontestable mais avec les plantes à propagation par clones où les tissus somatiques vivent très vieux, la position n'est pas si claire. Pendant une assez longue période de temps, les mutations s'accumulent dans les diverses lignées cellulaires des plantes vivaces. Si une mutation se produit dans l'une des couches histogènes du primordium, la plante peut devenir une chimère composée de couches ayant une constitution génétique différente. Des chimères de cette sorte sont bien connues et on peut en citer des exemples dans les pommes, les poires, et les chimères coing-aubépine ainsi que chez les pommes de terre et certaines sortes de fleurs de jardin [13]. Les formes mutantes observées après irradiation de plantes chimériques ne peuvent pour cela être attribuées avec certitude à des mutations provoquées au moment de l'irradiation. La fréquence élevée de récupération de phénotypes mutants identiques dans quelques plantes à propagation végétative après traitement indique très sûrement que des mutagènes comme les rayons X affectent différentiellement le taux de survie des tissus qui constituent les diverses couches des chimères.

INFLUENCE DES SOUCHES

L'amélioration des arbres fruitiers, où la propagation implique l'emploi d'un porte-greffe, n'est en aucune sorte restreinte à des considérations sur les caractéristiques de la variété même en culture. Des interactions entre la souche et le scion peuvent profondément affecter la vigueur et le comportement agronomique général de l'arbre. La vigilance dans la culture et la sélection des porte-greffes de pommes pour des buts spécifiques par la East Malling Research Station a engendré de grandes améliorations dans la culture et le comportement des récoltes de pommes sur une échelle mondiale. La production de nouveaux types de porte-greffes pour les autres arbres fruitiers des régions tempérées n'a pas été aussi spectaculaire. Chez la cerise, les problèmes de porte-greffes adéquats a été particulièrement difficile à résoudre. Le cerisier est un grand arbre forestier et les rhizomes capables de rabougrir des scions vigoureux donneraient de grands avantages en culture. L'espèce naine apparentée *Prunus* produit généralement une incompatibilité souche/scion lorsqu'elle est greffée sur *Prunus avium* et leur culture pour emploi comme souche naine a été généralement abandonnée. Des variantes dans le *Prunus avium* qui pouvaient provoquer le nanisme dans des variétés de scions n'étaient pas connues jusqu'à tout récemment. La découverte récente d'un mutant nain, conditionné par un gène récessif unique dans un grand nombre de variétés cultivées [14] offre de nouveaux espoirs de produire des souches naines qui soient totalement compatibles avec les variétés de cerise douce (figure 7).

BIBLIOGRAFIE

[1] BROWN, A. G. *Euphytica*, **8**, 81, 1959.
[2] WILLIAMS, W. *Trans. 2nd Int. Congr. Eucarpia.* (Sous presse.)
[3] SHAY, J. R., DAYTON, D. F. et HOUGH, L. F. *Proc. Amer. Soc. hort. Sci.*, **62**, 348, 1953.
[4] TOXOPEUS, H. J. *Euphytica*, **5**, 221, 1956.
[5] STAKMAN, E. C. *Phytopathology*, **44**, 346, 1954.
[6] LEWIS, D. *Heredity*, **5**, 399, 1951.
[7] WILLIAMS, W. et BROWN, A. G. *Ibid.*, **10**, 237, 1956.
[8] *Idem. Proc. roy. Soc., B*, **145**, 337, 1956.
[9] SIMMONDS, N. W. *J. Genet.*, **51**, 458, 1953.
[10] SHAMEL, A. D. et POMEROY, C. S. *J. Hered.*, **23**, 173, 213, 1932.
[11] BAUER, R. *Hereditas, Lund*, **43**, 323, 1957.
[12] BISHOP, C. J. *Proc. X Int. Congr. Gen.*, **2**, 26, 1958.
[13] CRANE, M. B. et LAWRENCE, W. J. C. «The Genetics of Garden Plants», (4e édition). Macmillan & Co. Ltd., Londres. 1952.
[14] WILLIAMS, W. *Rep. Innes hort. Instn.*, **48**, 7, 1957.

Mécanismes hydrauliques chez les araignées

par D. A. PARRY

Les systèmes de locomotion fonctionnant en partie grâce à un mécanisme hydraulique sont communs chez les animaux, malgré certaines limitations dont souffrent de tels systèmes. Les vertébrés et les arthropodes ont indépendamment réalisé un système différent, basé sur l'existence de leviers squelettiques, mais certains arthropodes semblent combiner l'usage d'un squelette avec celui d'un mécanisme hydraulique. Cet article décrit des travaux récents qui aboutissent à cette conclusion et discute aussi les conséquences de l'existence d'un tel mécanisme, pour l'interprétation de l'évolution des arthropodes.

L'origine des forces nécessaires à la locomotion animale réside, à peu d'exceptions près, dans les muscles, aggrégats de fibres capables de se raccourcir en tirant un poids et donc en fournissant un travail mécanique. Les systèmes de locomotion utilisant des muscles doivent remplir deux conditions importantes. D'abord, la force produite par le muscle doit être transmise de manière à s'exercer entre le corps et le milieu; ensuite, il doit exister un système assurant l'extension des muscles après contraction, l'allongement du muscle étant passif. Une des solutions se présente chez beaucoup d'animaux, que l'on peut considérer comme des enveloppes musculaires enfermant un liquide, constituant important du système locomoteur. L'enveloppe du ver de terre, par exemple, comprend deux séries de muscles orientés à angle droit, une série entourant le corps, l'autre le suivant sur toute sa longueur (figure 1). La tension maintenue dans ces muscles produit une pression dans le liquide interne et raidit ainsi l'animal. Le liquide est maintenu par des cloisons transversales, les dissépiments, si bien que chaque région agit à volume constant. Ainsi, si les muscles longitudinaux se contractent dans une région, celle-ci se raccourcit et s'épaissit et les muscles circulaires s'étendent; l'inverse étant aussi vrai, nous avons affaire à un système antagoniste. Si les soies, qui font saillie en dehors du corps, s'enfoncent dans le sol et s'en retirent, à des phases appropriées du cycle, l'animal peut se pousser en avant, les forces musculaires internes sont ainsi transmises au milieu. De nombreuses versions de ce système musculo-hydraulique fournissent les mouvements d'animaux aussi variés que les anémones de mer, les vers ronds et les escargots. Le désavantage manifeste d'un tel système est le couplage qui doit exister entre les différentes activités musculaires; quand les muscles sont actifs dans une région du corps, la distribution ou la pression du liquide s'en trouve modifiée et ceci affecte en retour les muscles d'une autre région. Comme on l'a expliqué ci-dessus, les dissépiments apportent une solution partielle à ce problème pour le ver de terre; mais la même situation existe à l'intérieur de chaque compartiment et semble empêcher l'évolution vers une activité musculaire complexe.

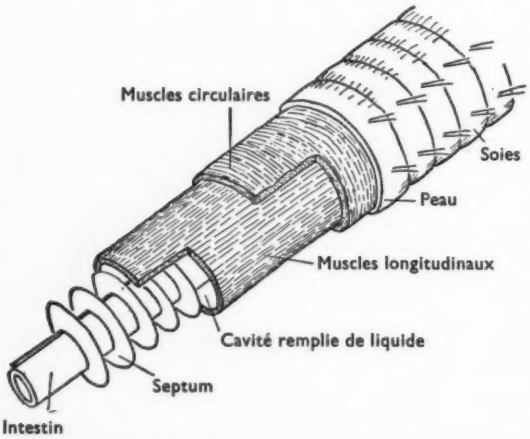


FIGURE 1 – *Schéma d'une partie d'un ver de terre, montrant la paroi du corps formée de muscles circulaires et longitudinaux, et la cavité remplie de liquide entre la paroi du corps et le tube digestif, divisée transversalement par les dissépiments.*

L'homme et les tétrapodes fournissent la solution la plus élégante apportée au problème de l'utilisation des muscles pour la locomotion. Ces animaux sont soutenus par une charpente articulée, agissant comme un ensemble de leviers, qui

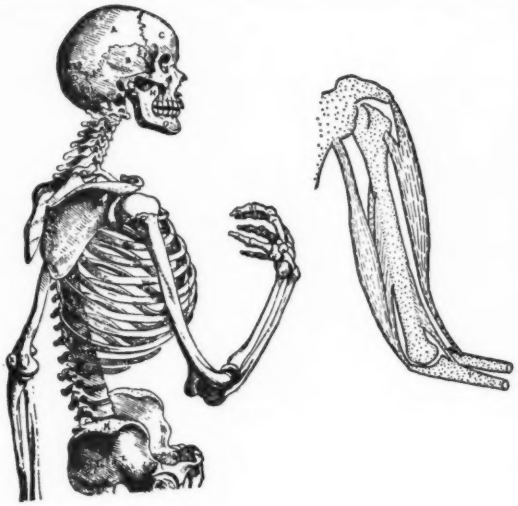


FIGURE 2 – (*A gauche*) *Le squelette humain* (*d'après Vésale* [7]); (*à droite*) *schéma du système de muscles antagonistes du coude.*

convertit les forces musculaires en forces de propulsion, appuyées au sol. La configuration et le mouvement de chaque articulation d'un membre sont contrôlés par deux ou plusieurs muscles, disposés de telle manière que la contraction d'un muscle, ou d'un groupe de muscles, fasse jouer l'articulation dans une direction, tandis que la contraction de l'autre muscle, ou groupe de muscles, la fait jouer dans le sens opposé et provoque l'extension des muscles antagonistes. Certaines articulations, comme le coude de l'homme (figure 2), travaillent dans un seul plan et n'ont qu'un système simple de muscles antagonistes. D'autres, comme l'épaule de l'homme, sont des articulations à rotule et leur musculature est donc plus compliquée, comme l'est le mécanisme de contrôle qui active, ou désactive, le groupe de muscles nécessaire au mouvement dans une direction particulière.

Il existe un autre groupe animal dont le système de locomotion est remarquablement similaire à celui des tétrapodes. Ce sont les arthropodes qui comprennent: les insectes, les crustacés, les araignées et les myriapodes. Les arthropodes constituant une lignée évolutive indépendante, il n'est pas surprenant de constater que leur système de locomotion, bien que mécaniquement semblable à celui des tétrapodes, est construit sur un plan différent. Tandis que, chez les tétrapodes, la rigidité de chaque segment du membre est due aux os, chez les arthropodes cette rigidité du segment est due à la cuticule externe du membre, qui forme un cylindre creux enveloppant les muscles et les autres organes. Néanmoins, comme chez les tétrapodes, les segments des membres sont articulés entre eux; le jeu des articulations est contrôlé par des paires de muscles, ou des dispositions plus complexes, qui agissent en antagonisme, et le membre, dans son ensemble, agit comme un levier, grâce auquel les forces musculaires sont converties en forces appliquées entre le pied et le sol.

Il existe, cependant, des exceptions à cette similitude. Chez certains arthropodes, notamment les araignées, les scorpions et d'autres animaux du groupe des arachnides, certaines articulations des pattes sont disposées de manière à exclure l'usage de muscles antagonistes. Les figures 3 et 4 illustrent ce fait en opposant une articulation normale à l'articulation «à charnière» d'une araignée. Dans la première (figure 3), l'axe de l'articulation passe transversalement à travers le centre du membre, permettant l'attache de muscles extenseurs et fléchisseurs au-dessus et au-dessous de l'axe. Dans l'articulation «charnière» d'araignée (figure 4), l'axe est placé au sommet du membre et, comme le montre le diagramme, ceci permet l'insertion de muscles

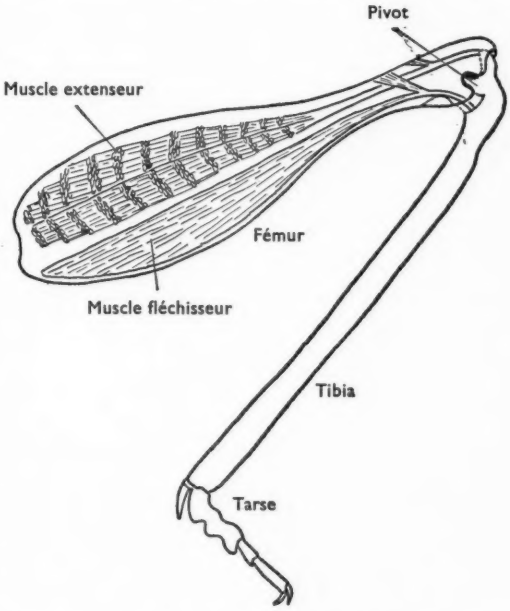


FIGURE 3 – *Schéma de la patte postérieure d'un criquet,* Locusta migratoria, *montrant les muscles extenseur et fléchisseur du tibia et le pivot sur lequel ils agissent.* (*D'après Albrecht* [1].)

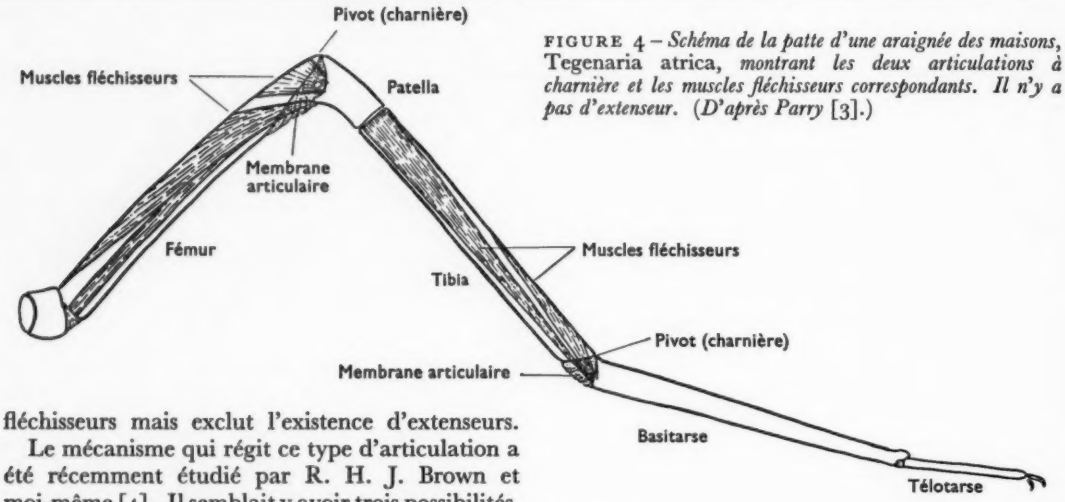


FIGURE 4 – *Schéma de la patte d'une araignée des maisons,* Tegenaria atrica, *montrant les deux articulations à charnière et les muscles fléchisseurs correspondants. Il n'y a pas d'extenseur.* (*D'après Parry* [3].)

fléchisseurs mais exclut l'existence d'extenseurs.

Le mécanisme qui régit ce type d'articulation a été récemment étudié par R. H. J. Brown et moi-même [4]. Il semblait y avoir trois possibilités. La première est celle d'une articulation élastique, qui reprendrait sa place quand les muscles fléchisseurs se relâchent; mais la simple observation montre que le mouvement est libre sur un angle très étendu. La seconde possibilité est une extension passive de l'articulation, par la pression du pied sur le sol, due à des muscles agissant dans une autre région de la patte. On a pu réfuter ceci de la manière suivante: Une patte d'une araignée vivante est chargée d'un petit anneau de cuivre de 45 mg. L'araignée est maintenue au-dessus du sol, de manière que la patte chargée se meuve dans un plan horizontal, donc ne soit pas affectée par la pesanteur. Quand l'araignée se débat, l'articulation à charnière de la patte chargée se plie et se détend, montrant que l'extension est un phénomène actif dû à des forces produites dans la patte elle-même. De plus, en prenant un film de la patte en train de s'étendre et en mesurant l'accélération angulaire autour de l'articulation, il a été possible d'estimer le couple moteur qui produit l'extension. On expliquera dans le paragraphe suivant l'utilisation de telles estimations.

Il existe une troisième possibilité. Sa nature nous est suggérée par l'observation que le volume d'une articulation à charnière s'accroît pendant l'extension; la pression du liquide dans la patte doit donc tendre à déplier l'articulation. On peut le démontrer aisément en détachant une patte d'araignée (il existe un plan de fragilité à la base et l'amputation n'y provoque qu'une petite perte de sang) et en pinçant l'extrémité ouverte de manière à l'obturer et à augmenter la pression du sang; on fait alors étendre la patte. En utilisant l'appareil représenté sur la figure 5, on peut

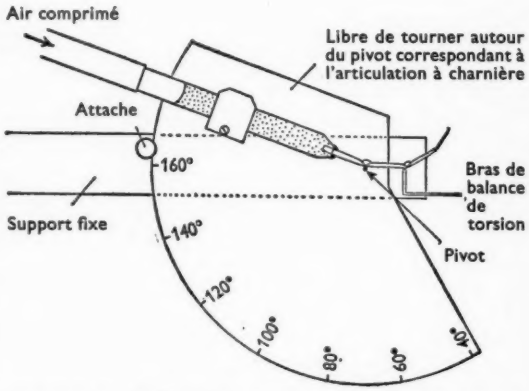


FIGURE 5 – *Méthode pour mesurer la relation entre la pression interne de la patte, l'angle de l'articulation et le couple agissant sur l'articulation à charnière.* (*D'après Parry et Brown* [4].)

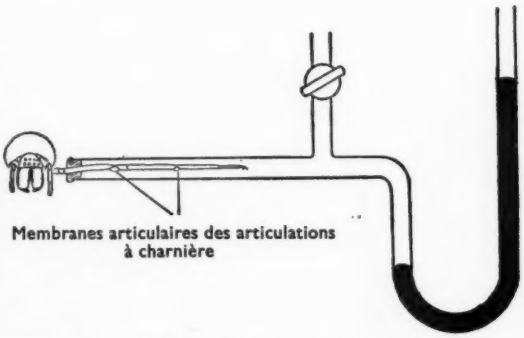


FIGURE 6 – *Méthode pour mesurer la pression du sang à l'intérieur d'une patte d'araignée. Les membranes articulaires s'affaissent quand la pression externe surpasse la pression sanguine.* (*D'après Parry et Brown* [4].)

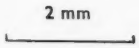


FIGURE 7 – Sitticus pubescens *en train de sauter (intervalle de prise de vue* 6 *msec). Noter la distension des membranes articulaires et l'érection des épines. (D'après Parry et Brown* [5].)

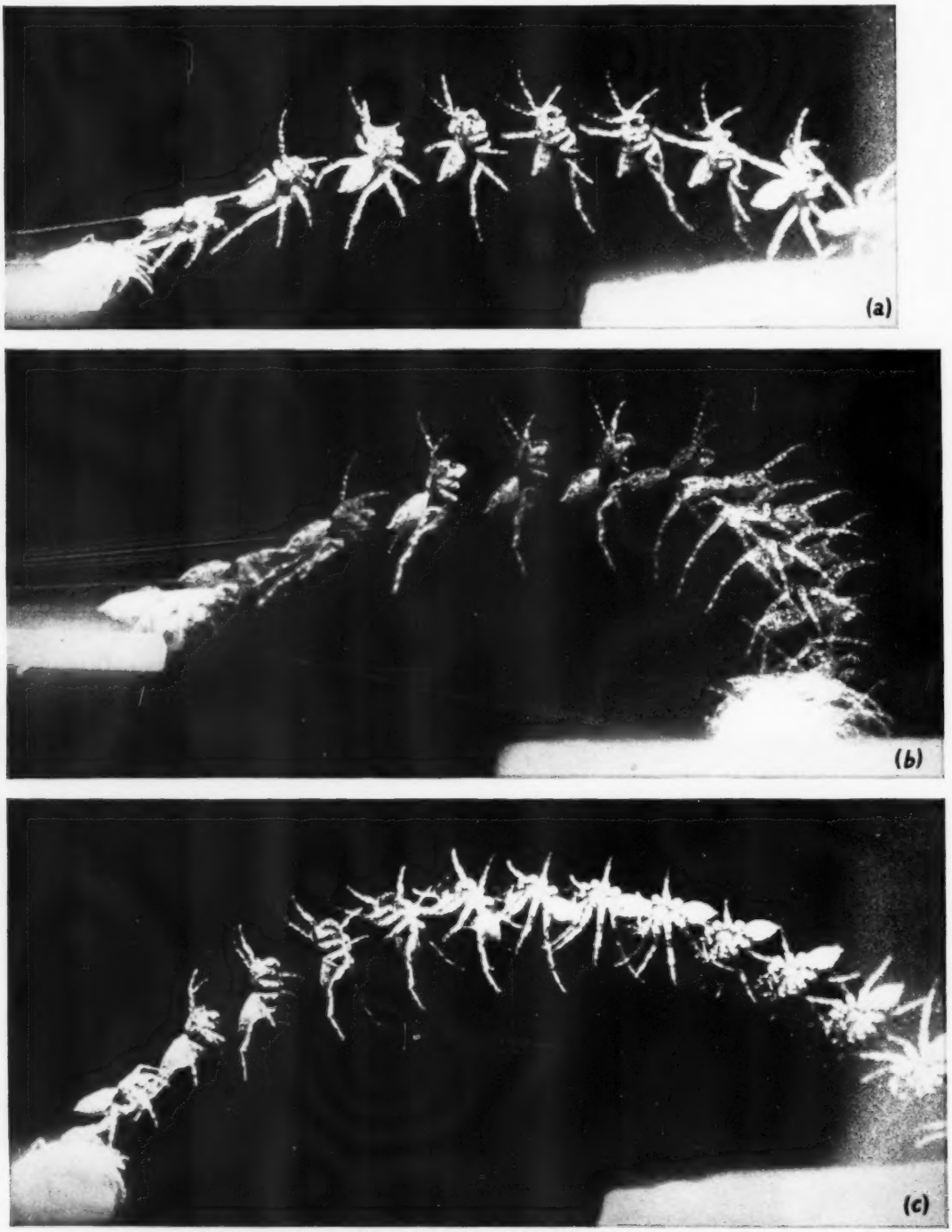


FIGURE 8 – Sitticus pubescens *Photographie à images multiples (fréquence du flash 7,5 msec) montrant l'utilisation du fil de soie qui contrarie l'inclinaison positive et contrôle la portée. (D'après Parry et Brown* [5].)

déterminer la relation entre la pression du sang et le couple moteur de l'articulation, à différents angles d'extension. On trouve alors que pour produire des couples de la grandeur observée chez l'animal vivant, il faut une pression sanguine d'environ 0,5 atmosphères, pression beaucoup plus élevée que toutes celles que l'on a signalées chez les arthropodes.

Il existe une méthode simple, de principe analogue à celle utilisée pour l'homme, pour mesurer directement la pression sanguine des araignées. Elle repose sur le fait que les membranes articulaires entre les segments des pattes sont molles et flexibles et donc s'affaissent, dès que la pression externe appliquée à la patte excède la pression interne. On scelle une patte d'araignée vivante dans un manchon transparent, permettant l'observation de la membrane articulaire (figure 6). On augmente alors graduellement la pression dans le manchon et l'on détermine celle qui est nécessaire à l'affaissement de la membrane. La pression ainsi déterminée du sang d'une araignée au repos est d'environ 5 cm de mercure — sans doute suffisante pour étendre une patte non-chargée, mais beaucoup trop petite pour rendre compte des résultats obtenus avec une patte chargée. Cependant, on a aussi noté que si l'araignée se débat, après que la membrane articulaire se soit affaissée, cette dernière se regonfle temporairement, indiquant que la pression interne s'est élevée au-dessus de la pression appliquée. Les essais ont montré que cette nouvelle saillie de la membrane pouvait se faire contre une pression externe, atteignant, mais n'excédant pas, 40 cm de mercure, suffisante pour rendre compte des couples mesurés sur les araignées vivantes.

Ces résultats semblent donc en faveur de l'idée que l'extension de l'articulation à charnière de l'araignée est due à la pression du liquide, pression qui varie entre 5 cm de mercure chez l'animal au repos et 40 cm de mercure pendant de brèves périodes de grande activité. On peut se demander en plus comment et où cette pression est produite; il existe quelques raisons de penser qu'elle naît dans le corps de l'araignée et non localement dans les pattes elles-mêmes.

On a figuré plus haut dans cet article l'articulation fémur-tibia de la patte postérieure d'un criquet, comme exemple d'une articulation normale d'arthropode (figure 3). Lors du saut, c'est l'extension subite de cette articulation qui en est responsable; la grande taille des muscles extenseurs est évidente sur la figure. Des petites araignées de la famille des Salticides sautent aussi; elles ont des yeux particulièrement bien développés et sautent sur, ou après, leur proie, à des distances de 10 cm ou plus. Les pattes de ces araignées, contrairement à celles des criquets, ne sont pas manifestement modifiées pour le saut, néanmoins des photographies prises au flash à grande vitesse (figure 7) de la Salticide britannique *Sitticus pubescens* ne laissent aucun doute sur le fait que le saut soit dû, comme l'avait déjà établi Bristowe [2], à l'extension soudaine de la paire de pattes postérieures et spécialement aux articulations à charnière. La question se pose donc de savoir si l'hypothèse de la pression sanguine peut rendre compte de cette activité violente. Il est intéressant de noter que, contrairement à quelques autres Salticides, *Sitticus* saute presque entièrement grâce à sa paire de pattes postérieures. Les photographies montrent que la première et la deuxième paire se tiennent au-dessus du sol au moment du saut et que la troisième paire quitte le sol dès le début; son ablation d'ailleurs n'entraîne aucun effet marqué sur la performance. En première approximation, on peut donc affirmer que la force nécessaire pour accélérer une araignée de masse connue, à une vitesse mesurée sur les photographies, se répartit également entre les pieds des pattes postérieures. Ainsi, pour chaque position des pattes postérieures, que montre la photographie, on peut estimer les couples à l'articulation. Ces articulations à charnière diffèrent de celles de l'araignée des maisons uniquement par la taille, et la relation entre couple et pression dépend seulement de la taille. D'où en utilisant les données obtenues sur l'araignée des maisons, on peut calculer la pression nécessaire pour produire le couple de saut de la Salticide. Les pressions calculées tombent à presque deux fois celles que l'on sait exister chez l'araignée des maisons et, en raison de la nature très approximative du calcul, on peut considérer que les résultats confirment l'idée que le saut des salticides est dû aux forces hydrauliques.

Les photographies ont fourni une preuve directe inattendue du fait que le saut est accompagné d'un accroissement de pression. On peut montrer, en

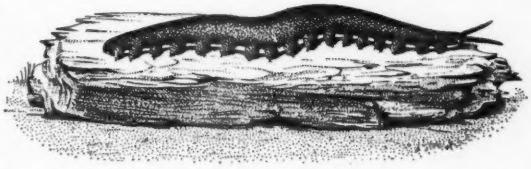


FIGURE 9 – Peripatopsis capensis. (*D'après A. Sedgwick* [6].)

pinçant les pattes détachées de beaucoup d'araignées, que l'accroissement de pression dans la patte provoque l'érection des épines des pattes. La figure 7 montre que c'est précisément ce que font les épines des pattes de l'araignée qui saute, au moment où elle quitte le sol. De plus, ces épines font érection sur toutes les pattes; ceci suggère fortement que l'accroissement de la pression au moment du saut a son origine dans le corps lui-même ou, au moins, dans la moitié antérieure du corps et affecte également toutes les pattes.

Des photographies multiples (figure 8) apportent de nouvelles lumières sur le saut. La figure 8*a* montre qu'un fil de soie attaché près du point de départ sort des filières au cours du saut; on peut le voir enjambant l'espace que l'araignée a franchi. L'araignée s'enlève avec une inclinaison positive prononcée (vers l'arrière) qui s'annule avant l'atterrissage. Cette annulation est probablement produite par la traction exercée sur le fil. Dans la figure 8*b*, on peut voir le même renversement de l'inclinaison initiale, mais vers la fin du saut le fil opère une traction plus marquée et l'araignée se laisse tomber presque verticalement. Finalement, la figure 8*c* montre ce qui arrive quand l'inclinaison initiale ne s'annule pas, probablement si le fil n'est pas fixé (la photographie montre qu'il peut se libérer); l'animal fait une culbute presque complète.

Nous avons donné les raisons de croire que l'articulation à charnière des araignées fonctionne par le jeu de muscles fléchisseurs agissant en opposition avec la pression sanguine; il reste maintenant à considérer comment un tel mécanisme a pu se produire au cours de l'évolution. Dans une telle considération, on doit garder à l'esprit le principe général que les mécanismes animaux ont dû être fonctionnels et compétitifs pendant leur évolution. On admet généralement que les arthropodes ont dérivé, il y a plus de 500 millions d'années, d'animaux au corps mou, allongé, avec des appendices en lobes simples. De tels animaux devaient très probablement se mouvoir grâce à un système musculo-hydraulique mentionné au début. Cette vue est renforcée par l'existence actuelle de quelques animaux (le groupe des Onychophores) de ce type (figure 9); ce sont peut-être même les reliques modifiées des «proarthropodes» originels. Ils possèdent une cuticule chimiquement similaire à celle d'un arthropode moderne, mais mince et non durcie, si bien qu'elle ne constitue pas un squelette. Comme chez les arthropodes les espaces internes sont remplis de sang et il est probable que la pression du sang durcit le corps et les appendices lobés. Ces derniers se balancent en va et vient, durant la marche, sous l'action de muscles situés à leur base et se raccourcissent ou s'allongent, au moyen de muscles internes agissant sur la pression du sang.

Si l'ancêtre à corps mou des arthropodes (le «proarthropode») leur ressemblait, son évolution en arthropode a demandé un durcissement graduel de la cuticle (peut-être originellement comme adaptation de protection) et sa transformation en squelette rigide. Dans les appendices au moins, ce durcissement doit s'être accompagné du développement d'articulations présentant des surfaces de contact et il n'est pas difficile de supposer que la musculature de la patte s'est transformée en un système d'antagonistes. Une fois un tel système réalisé, la pression sanguine cesse de jouer un rôle dans la mécanique de l'animal et l'on atteint la condition de la majorité des arthropodes actuels.

Il semble y avoir deux modes possibles d'évolution vers une articulation à charnière. L'une, où cette articulation à charnière se serait développée secondairement à partir d'une articulation à deux muscles, offre des difficultés. L'avantage sélectif d'un tel développement n'est pas clair et les stades intermédiaires de disparition de l'articulation et de réinstallation du mécanisme hydraulique ne sont pas faciles à se représenter. Si, au contraire, l'articulation à charnière est dérivée indépendamment à partir du proarthropode, les difficultés disparaissent. Un appendice en lobe raidi par la pression sanguine peut aisément avoir durci sa cuticule et évolué vers une articulation à charnière dont le fléchissement est assuré par des muscles, mais qui continue à faire usage de la pression sanguine pour l'extension.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ALBRECHT, F. O. «The Anatomy of the Migratory Locust». The Athlone Press, Londres. 1953.

[2] BRISTOWE, W. S. «The Comity of Spiders», Vol. II, 231. Ray Society, Londres. 1941.

[3] PARRY, D. A. *Quart. J. micr. Sci.*, **98**, 331, 1957.

[4] PARRY, D. A. et BROWN, R. H. J. *J. exp. Biol.*, **36**, 423, 1959.

[5] *Idem. Ibid.*, **36**, 654, 1959.

[6] SEDGWICK, A. *Quart. J. micr. Sci.*, **28**, 431, 1888.

[7] VESALIUS. «Tabulae anatomicae sex». 1538. D'après une édition fac-similé imprimée privément pour Sir W. Stirling-Maxwell. Londres. 1874.

La structure du noyau

par J. HAMILTON

Bien qu'un certain nombre de questions majeures restent en suspens, des recherches récentes permettent de discerner quelques structures bien définies du noyau atomique. En dépit de caractères encore incertains, il semble que les protons et les neutrons qui composent le noyau décrivent des orbites autour d'un centre de masse, de manière analogue au mouvement orbital des électrons autour du noyau. Les faits expérimentaux repris dans cet article permettent d'étudier un modèle de constitution du noyau et de discuter l'hypothèse de la structure en couches successives.

COMPARAISON ENTRE L'ATOME ET LE NOYAU

Le noyau est le corpuscule de rayon 10^{-12} cm environ qui se trouve au centre de l'atome. Il est constitué de Z protons et N neutrons. Le nombre atomique $A=N+Z$ représente approximativement le poids du noyau lorsque le proton a été choisi comme unité de masse. Le neutron n'étant pas chargé, la charge du noyau est Ze, provenant des Z protons. Mis à part le fait que le proton est chargé, le proton et le neutron ont des propriétés voisines et il est commode d'utiliser le terme «nucléon» pour désigner soit un proton, soit un neutron.

La masse d'un noyau n'est pas exactement A fois la masse du proton, tout d'abord parce que le neutron est 0,14% plus lourd que le proton; d'autre part l'équation d'Einstein, $E=Mc^2$ (où E est l'énergie, M la masse, et c la vitesse de la lumière), indique qu'un noyau fortement lié est un peu plus léger qu'un noyau faiblement lié contenant les mêmes particules. Si M_{noy}, M_p et M_n sont les masses observées du noyau, d'un proton et d'un neutron, l'énergie de liaison B est donnée par:

$$B=c^2(ZM_p+NM_n-M_{noy}) \qquad \ldots.(1)$$

Les problèmes de la structure du noyau apparaissent plus simples si nous comparons le noyau et l'atome. Le rayon du noyau est environ 10^{-5} fois plus petit que le rayon de l'atome; c'est à peu près le rapport qui existe entre 100 m et le rayon de la Terre. L'énergie de liaison d'un noyau est 10^5 à 10^6 fois plus grande que l'énergie de liaison de l'atome correspondant. Par exemple, les différences entre les niveaux d'énergie dans un noyau léger sont de l'ordre de 1 MeV, tandis que les niveaux d'énergie dans les atomes légers diffèrent d'une dizaine d'eV ou moins. C'est cette grande disparité entre l'énergie attachée au noyau et celle de l'atome qui fait que les explosions nucléaires sont si puissantes comparées aux réactions ordinaires.

L'atome comprend Z électrons se déplaçant sur des orbites autour du noyau, la masse de chaque électron étant environ 1/2 000 de celle du proton. Les A nucléons du noyau sont toujours en mouvement, mais ils ont tous les mêmes masses et se trouvent constamment en collision; ainsi on ne peut s'attendre à ce que leurs orbites soient simples.

La cohésion de l'atome est due à la force électrostatique (force de Coulomb) qui attire les électrons négatifs vers le noyau chargé positivement. Lorsque les électrons se trouvent à la distance r du noyau, cette force vaut Ze^2/r^2. A l'intérieur du noyau existe une répulsion électrostatique entre les protons. Par conséquent la cohésion du noyau doit être maintenue par une force nouvelle inconnue en chimie-physique classique: la gravitation est environ 10^{37} fois trop faible pour maintenir les liaisons nucléaires. Cette nouvelle force — que nous appellerons force nucléaire — doit être une force d'attraction et doit être plus grande que la force de Coulomb entre deux protons. On connaît cette dernière parce qu'il existe des noyaux stables contenant un grand nombre de protons, Pb^{208} par exemple contient 82 protons. Nous pensons que la force nucléaire agit entre chaque paire de nucléons à l'intérieur du noyau.

RÉPARTITION DES ÉLECTRONS ET DES NUCLÉONS

La répartition des électrons d'un atome est très différente de la répartition des nucléons dans le noyau. A l'intérieur de l'atome, seuls les électrons internes subissent l'attraction maximum, Ze^2/r^2, vers le noyau. Ils se déplacent sur des orbites de Bohr de rayon $a_z=\hbar^2/me^2Z=5{,}3\times10^{-9}/Z$ cm, où $2\pi\hbar$ est la constante de Planck et m la masse de l'électron. L'énergie de liaison de ces électrons internes est $me^4Z^2/2\hbar^2=13{,}6Z^2$ eV. Les électrons plus éloignés du noyau ne subissent pas l'attraction

coulombienne maximum parce qu'ils se trouvent isolés du noyau par les électrons internes. En fait les électrons périphériques ne subissent, de la part du noyau, qu'une attraction qui ne dépasse guère e^2/r^2. Par conséquent ces électrons périphériques suivent des orbites dont les rayons et les énergies sont, en première approximation, indépendantes du nombre atomique Z.

Il en résulte plusieurs conséquences importantes:

(AI) La densité électronique de l'atome n'est pas uniforme: elle est beaucoup plus grande au centre que dans les régions périphériques.

(AII) Le volume occupé par un atome libre ne croît pas de façon systématique lorsque Z augmente; les variations de volume d'un élément à l'autre sont fonction du numéro de la colonne qu'occupe l'élément dans la Classification Périodique.

(AIII) L'énergie de liaison totale des électrons est déterminée principalement par les électrons internes, elle croît comme $Z^{7/3}$.

Voyons maintenant les propriétés correspondantes du nucléon. Un grand nombre d'expériences ont montré que:

(NI) La densité des nucléons à l'intérieur d'un noyau important est uniforme à partir du centre jusque dans une région voisine de la surface où la densité tombe rapidement vers zéro, mais de façon régulière.

(NII) Le rayon de la plupart des noyaux est donné par:

$$R = r_0 A^{1/3} \qquad \ldots.(2)$$

où r_0 est une constante ($\simeq 1{,}2 \times 10^{-13}$ cm). Le volume du noyau est donc $(4\pi/3)Ar_0^3$. Ceci montre que la densité est indépendante du poids atomique A.

(NIII) L'énergie de liaison totale B d'un noyau stable est presque proportionnelle à A; ceci est mis en évidence par la courbe B/A, énergie de liaison par nucléon en fonction de Z (figure 1). De $A = 20$ à $A = 160$, elle est un peu supérieure à 8 MeV par nucléon. Pour $A > 160$, elle diminue lentement, les répulsions coulombiennes entre les 70 ou 80 protons devenant plus importantes. Pour $A < 20$, elle diminue parce que les noyaux légers présentent une surface importante et n'ont pas une région interne uniforme.

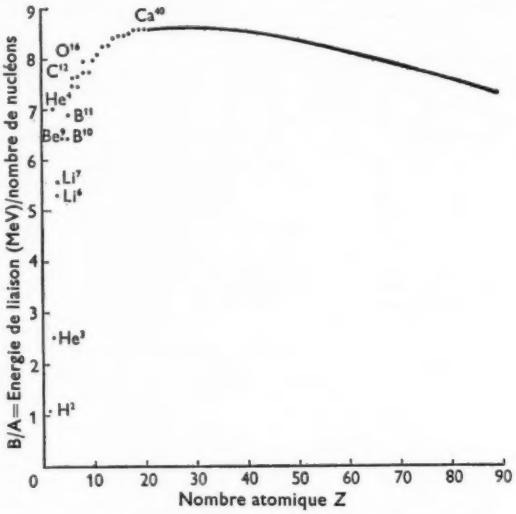


FIGURE 1 – *Energies de liaison par nucléon des noyaux stables en fonction du nombre atomique.*

SATURATION DU MILIEU NUCLÉAIRE

Prises séparément, les propriétés nucléaires (NI, NII, NIII) sont ainsi différentes des propriétés atomiques correspondantes (AI, AII, AIII). Les propriétés du milieu nucléaire semblent largement indépendantes du nombre de nucléons à l'intérieur du noyau. Si l'on double la quantité de matière nucléaire, on ne fera que doubler le volume du noyau et son énergie de liaison totale. Ces propriétés sont plus voisines des propriétés d'un liquide que de celles des structures électroniques d'atomes.

La cohésion d'un liquide est due aux forces d'attraction entre les molécules voisines dont la distance n'excède pas plusieurs fois leur rayon. Lorsque deux molécules s'approchent l'une de l'autre de telle façon que leurs orbites électroniques se touchent, il se produit une forte répulsion mutuelle. Cette combinaison d'une répulsion forte dans un domaine réduit et d'une attraction dans un domaine plus large entre les molécules voisines, permet à une goutte de liquide contenant un nombre assez grand de molécules d'avoir une densité unique indépendante du nombre total de molécules dans la goutte. Nous utiliserons le terme «saturation» pour exprimer le fait que lorsqu'on ajoute des molécules, il n'y a pas augmentation de la densité ou de l'énergie moléculaire de cohésion.

Le noyau présente un phénomène de saturation identique. L'existence de cette saturation dans le noyau implique que la force nucléaire ne peut être attractive entre chaque paire de nucléons quelque soit la séparation. Un calcul simple montre que s'il en était ainsi, «un état dégénéré»

du noyau serait favorisé du point de vue énergétique. Dans cet état dégénéré, chacun des nucléons A se trouve à l'intérieur du domaine d'attraction de tous les autres. Ceci conduit à une énergie potentielle totale négative variant comme A^2. L'énergie cinétique totale est positive et l'on peut montrer que dans l'état dégénéré elle est proportionnelle à A si l'on fait abstraction du principe d'exclusion. Selon ce principe deux ou plusieurs nucléons ne peuvent occuper le même état en mécanique ondulatoire. On ne peut certainement pas éviter ce principe dans le noyau. Lorsqu'on l'applique à l'état dégénéré il est nécessaire que quelques nucléons se trouvent dans des états plus énergiques que ce ne devrait être le cas. Il en résulte que l'énergie cinétique dans l'état dégénéré n'est pas proportionnelle à A mais à $A^{5/3}$. Pour $A > 20$, l'énergie potentielle prédomine, cependant l'énergie de cohésion totale d'un milieu ou d'un noyau important varie comme A^2, tandis que dans le cas (*N*III) nous voyons qu'elle devrait varier comme A. Ainsi la valeur calculée pour l'énergie de liaison dans l'état dégénéré est de beaucoup supérieure aux valeurs observées. Il s'ensuit que le noyau effectif ne se trouve pas dans l'état dégénéré et par conséquent les forces qui existent entre chaque paire de nucléons doivent être des forces de répulsion à une certaine distance: elles ne peuvent être des forces d'attraction quel que soit l'éloignement.

SATURATION ET FORCE NUCLÉAIRE

Le concept de saturation de la matière nucléaire représente une telle importance pour notre connaissance du noyau que nous voudrions donner une explication simple de la façon dont elle apparaît. Malheureusement la saturation ne se présente pas comme la conséquence directe d'un principe fondamental de la physique et nous aurons lieu d'examiner en détail plusieurs phénomènes avant d'apercevoir comment elle s'introduit.

D'abord nous examinerons la nature de la force entre deux nucléons, c'est-à-dire la force nucléaire. Ici nous ferons appel à l'expérience directe. Des protons ou des neutrons de grande énergie, produits par un cyclotron ou un synchrotron peuvent être diffusés par des protons initialement au repos. Les expériences de déviation réalisées avec des protons et des neutrons d'énergies différentes fourniront d'importants renseignements au sujet des forces nucléon-nucléon. Nous ferons alors l'hypothèse fondamentale que la force entre deux nucléons à l'intérieur du noyau est la même que la force entre deux nucléons isolés.

Pour des raisons pratiques nous ne pourrons pas déterminer ainsi la force entre deux neutrons. Nous déduirons cette force à partir du principe de la symétrie des charges, qui indique que la force entre deux neutrons est la même que la force entre deux protons si l'on néglige la répulsion de Coulomb. La vérification de la symétrie des charges est donnée par le noyau-miroir: en remplaçant respectivement tous les protons et les neutrons d'un noyau par des neutrons et des protons, on obtient le noyau-miroir. Voici quelques exemples de paires de miroirs (la plupart font intervenir des noyaux instables par désintégration β) H^3, He^3; He^5, Li^5; Be^{10}, C^{10}; B^{11}, C^{11}; C^{13}, N^{13}; C^{14}, O^{14}; O^{18}, Ne^{18}. Il est facile de calculer la différence des énergies coulombiennes des deux membres d'une paire formant miroir. On trouve alors que les énergies de l'état fondamental et des états excités des deux membres dans un système de miroirs quelconque sont presque identiques. D'autres propriétés de ces états sont aussi identiques: leur spin et leur parité (figure 2). En d'autres termes, échanger les protons et les neutrons d'un noyau n'altère que l'énergie coulombienne (et leur autre propriété électromagnétique, le moment magnétique); ceci montre la symétrie des charges.

LE CŒUR DU NOYAU

D'après le principe de la symétrie des charges,

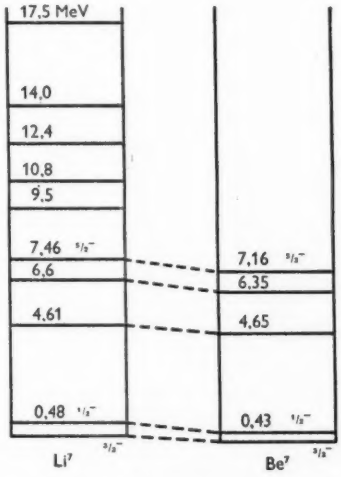


FIGURE 2 – *Niveaux d'énergie connus des noyaux-miroirs Li^7 et Be^7. Les énergies des états excités supérieurs aux états fondamentaux sont données en MeV. Les niveaux indiqués ont été normalisés par soustraction des différences d'énergies coulombiennes. Les spins et les parités sont donnés lorsqu'ils sont connus. Les lignes interrompues joignent les états correspondants.*

les expériences de déviation montrent que les forces entre deux nucléons quelconque sont des forces d'attraction à des distances de l'ordre de 10^{-13} cm, mais à des distances inférieures à $0{,}4 \times 10^{-13}$ cm, ces forces correspondent à des répulsions fortes. Cette région de répulsions fortes à courtes distances est le cœur du noyau.

A première vue, il semblerait que la notion de cœur associée à celle d'attraction dans les régions éloignées permettrait d'expliquer la saturation de la matière nucléaire. Malheureusement, si l'on examine la situation en détail, on trouve que cette force nucléon-nucléon conduirait à la saturation à une densité qui est à peu près 10 fois la densité observée pour le milieu nucléaire. En d'autres termes, le rayon du cœur n'est pas suffisant pour rendre compte de la saturation nucléaire observée. Pour une explication complète de la saturation, nous aurons à examiner d'autres propriétés des forces nucléaires.

FORCES D'ÉCHANGE

Une autre propriété importante des forces nucléaires est leur caractère d'échange. Le concept de forces d'échange a été avancé par Heisenberg et Majorana par analogie avec les forces chimiques entre deux atomes d'hydrogène. En chimie, la force d'échange apparaît lorsque deux conditions sont satisfaites: *a*) les électrons sont soumis au principe d'exclusion, *b*) la fonction d'onde des deux électrons doit présenter certaines propriétés simples de symétrie. Ceci résulte de la probabilité que deux électrons se trouvent dans une région située entre les deux protons et donnent lieu à un lien de valence. Il est loisible de considérer cette force comme due à l'échange des électrons entre les deux atomes. Il n'existe pas de force d'échange analogue à celle-ci en physique classique.

La force d'échange entre deux atomes d'hydrogène est une force d'attraction si la fonction d'onde des deux électrons est inchangée lorsque les positions des deux électrons sont interchangées (fonction d'onde symétrique). C'est une force de répulsion si la fonction d'onde est antisymétrique lorsque les positions sont interchangées (fonction d'onde antisymétrique). L'énergie potentielle de l'interaction est par conséquent de la forme $V(r)P_x$, où P_x est l'opérateur qui échange les positions des deux électrons. Agissant sur la fonction d'onde symétrique, P_x multiplie cette fonction par $+1$, alors qu'il multiplie la fonction d'onde antisymétrique par -1.

On a suggéré que l'énergie potentielle de l'interaction entre deux nucléons (à des distances $r > 0{,}4 \times 10^{-13}$ cm) est de la forme $V_0(r) + V_e(r)P_x$. Ainsi, si les deux nucléons sont dans un état de symétrie spatiale, l'énergie potentielle est $V_0(r) + V_e(r)$. Si l'état est antisymétrique, l'énergie potentielle est $V_0(r) - V_e(r)$. Par conséquent il est très facile de concevoir qu'à des distances de l'ordre de 10^{-13} cm, l'attraction mutuelle de deux nucléons est forte s'ils se trouvent dans un état spatialement stable, tandis qu'aucune attraction ne se produit, ou bien il y a répulsion, si les deux nucléons se trouvent dans un état spatialement antisymétrique. On peut penser que la force nucléaire se comporte de façon particulière; nous en examinerons maintenant les conséquences.

LE PRINCIPE D'EXCLUSION ET LA SATURATION

Comme nous l'avons vu, le principe d'exclusion indique que deux nucléons ne peuvent pas se trouver exactement dans le même état. Chaque nucléon possède quatre degrés de liberté internes; ceci parce que chaque nucléon a deux valeurs de charge possibles (il peut être neutron ou proton) et deux valeurs possibles de spin (spin positif ou négatif suivant une direction arbitraire). Par conséquent, le principe d'exclusion indique que quatre nucléons au plus peuvent avoir la même fonction d'onde, ces quatre nucléons sont deux protons de spins opposés et deux neutrons de spins opposés.

Associé au caractère d'échange des forces nucléaires, le principe d'exclusion peut donner lieu à une saturation nucléaire. L'exemple suivant permet d'en expliquer simplement le processus. Supposons un certain nombre de nucléons très voisins les uns des autres. Le principe d'exclusion permet à quatre nucléons de se trouver au point considéré, mais il ne permet pas à un cinquième nucléon de se trouver au même endroit. En d'autres termes, la fonction d'onde du cinquième nucléon doit disparaître en ce point. Pour que ceci se produise de la manière la plus simple, il suffit que la fonction soit antisymétrique et s'oppose à l'échange du cinquième nucléon avec l'un des quatre autres. Ainsi, bien que la force nucléaire puisse exercer une attraction forte entre les quatre premiers nucléons, du fait de la propriété d'échange, le cinquième ne sera attiré par aucun d'eux. Ce comportement produira la saturation puisqu'il engendre une énergie potentielle qui varie seulement comme A.

Un raisonnement plus subtil montre que cette explication schématique est réellement satisfaisante. Nous pourrons même nous attendre à ce que l'association des forces d'échange aux longues

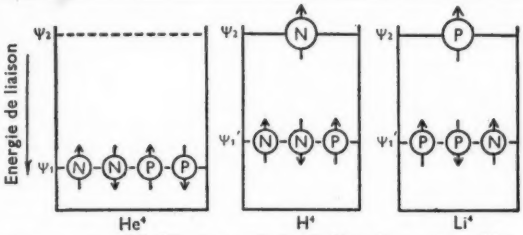


FIGURE 3 – *Modèle de particules indépendantes pour He^4, H^4, Li^4. Le principe d'exclusion joue un rôle important dans la détermination de la stabilité de ces noyaux.*

distances et des propriétés du noyau aux courtes distances permette d'expliquer la saturation nucléaire observée. Cependant on est conduit à un problème mathématique difficile qui n'a été que partiellement résolu. Il est nécessaire de considérer le mouvement de chaque nucléon en mécanique ondulatoire en tenant compte de l'influence de ses interactions connues avec les autres nucléons. Ce problème à plusieurs corps doit être traité en tenant compte du principe d'exclusion. Le résultat devra conduire à la densité du milieu nucléaire observée et à l'énergie de liaison de chaque particule. Bien que K. A. Brueckner ait progressé dans cette direction, il semble que nous soyons encore assez loin d'une solution satisfaisante de ce problème fondamental.

LES SYMÉTRIES DU NOYAU

Le principe d'exclusion et la nature des forces d'échange permettent également d'expliquer quelques symétries simples observées dans le noyau stable.

Nous donnerons l'exemple le plus simple: pourquoi He^4 est-il fortement lié, alors qu'il n'existe pas d'autres noyaux pour lesquels $A=4$? Nous pouvons comprendre ceci en nous rappelant que le principe d'exclusion permet aux quatre nucléons de He^4 de se trouver dans le même état Ψ_1 (figure 3). Chaque nucléon est alors fortement attiré par les trois autres; il en résulte un noyau très lié. Si l'on cherche à réaliser d'autres noyaux pour lesquels $A=4$, tels que H^4 ou Li^4, le principe d'exclusion permet à trois seulement des nucléons d'être dans l'état inférieur Ψ_1' (figure 3). L'énergie de liaison dans cet état est plus faible qu'en Ψ_1 puisqu'il y a seulement attraction de trois paires au lieu de six en Ψ_1. Ainsi le quatrième nucléon doit se trouver dans un autre état Ψ_2 pour lequel l'énergie de liaison est nécessairement inférieure à celle de Ψ_1'. Ajouté à d'autres effets, ceci explique la non-existence de H^4 et Li^4: si ces noyaux existaient, ils présenteraient une désintégration β.

THÉORIE MÉSONIQUE

Le caractère d'échange des forces nucléaires représente une idée intéressante en ce sens qu'elle se relie directement à la théorie mésonique. En physique des particules élémentaires, l'association des forces entre les particules et les champs correspondants est un principe général. Par exemple, la force entre deux électrons en mouvement se propage avec le champ de Maxwell; de la même façon la force entre deux nucléons se propage comme le champ mésonique. D'après un autre principe général, ces champs peuvent également apparaître sous la forme de particules ou quanta. Par exemple le champ de Maxwell est associé au photon, quantum de radiation électromagnétique. De la même façon, au champ mésonique est associée une nouvelle particule, le méson-π ou pion: c'est le quantum de champ mésonique.

Nous allons montrer maintenant comment l'on peut déduire quelques propriétés simples du champ mésonique. La force coulombienne entre deux particules chargées se propage suivant le champ électrostatique $\varphi(x)$ d'après l'équation de Poisson:

$$\Delta^2\varphi = -4\pi\rho \qquad \ldots.(3)$$

où ρ est la densité de charge.

Yukawa a suggéré que le champ mésonique $\Psi(x)$ suivant lequel se propage la force entre deux nucléons, satisfait l'équation

$$\Delta^2\Psi - k^2\Psi = -4\pi\sigma \qquad \ldots.(4)$$

où σ est la densité des nucléons; k^{-1} est une longueur; c'est la distance des forces nucléaires, le champ $\Psi(x)$ qui règne autour d'un nucléon étant de la forme:

$$\Psi(x) = r^{-1}e^{-kr} \qquad \ldots.(5)$$

D'après ce que nous savons sur la force nucléaire, k^{-1} doit être un peu plus grand que 10^{-13} cm.

Yukawa a aussi étudié une nouvelle particule qui pourrait être associée au champ Ψ. La masse de cette nouvelle particule est donnée par $m_\pi = kc/\hbar$. En prenant $k^{-1} = 1{,}4 \times 10^{-13}$ cm, m_π vaudrait 273 fois la masse de l'électron. La particule possédant cette masse, le méson-π ou pion, a été découverte par Powell. On peut dire que le pion transmet la force entre les nucléons.

Cette théorie élémentaire montre comment apparaissent les forces d'échange entre les nucléons. Considérons l'interaction d'un proton et d'un neutron. La partie de Ψ qui se rapporte au pion chargé transfère la charge d'un nucléon à l'autre. En d'autres termes, l'interaction interchange le proton et le neutron. De la même façon, le pion neutre peut créer des forces d'échange entre deux

protons ou deux neutrons. Cette théorie élémentaire est malheureusement trop simple pour expliquer comment la force nucléon-nucléon se comporte à faible distance comme s'il s'agissait d'un noyau compact.

LES NOMBRES MAGIQUES

Nous avons mis l'accent sur les différences évidentes entre la structure nucléaire et la structure atomique; en particulier, les propriétés de saturation suggèrent une répartition homogène de matière à l'intérieur d'un noyau relativement important. Il est cependant surprenant que les noyaux présentent une structure semblable à celle des atomes. Les propriétés anormales des noyaux «à nombre magique» conduisent très simplement à ce modèle structural; ce sont les noyaux contenant un nombre magique de neutrons ou de protons: les nombres magiques sont 2, 8, 20, 50, 82, 126. Les noyaux à «nombre magique» ont des propriétés quelque peu différentes des noyaux de valeurs voisines pour N ou Z et il semblerait que les noyaux à nombre magique ont en quelque sorte une structure complète et sont ainsi identiques aux atomes des gaz inertes dont la couche électronique périphérique est complète.

La vérification la plus simple montrant l'existence des nombres magiques est fournie par les nombres des noyaux de valeur donnée pour Z ou N. L'une des symétries les plus évidentes des noyaux stables est due au fait qu'il existe un plus grand nombre de noyaux stables pour lesquels N et Z sont pairs que de noyaux d'autres types. Cependant il existe un grand nombre de noyaux particulièrement stables dont les valeurs pour N et Z sont des nombres magiques. Par exemple, si l'on considère les valeurs voisines de $Z=20$ et $Z=50$ nous avons:

Elément	A	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr
Z	18	19	20	21	22	23	24
Isotopes stables ..	3	2	6	1	5	2	4
Elément	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	
Z	47	48	49	50	51	52	
Isotopes stables ..	2	8	1	10	2	8	

Considérons maintenant le nombre d'isotones stables, c'est-à-dire de noyaux ayant une valeur N donnée. Autour de $N=20$ et $N=50$ nous trouvons:

N	18	19	20	21	22	48	49	50	51	52
Nombre d'isotones stables	3	0	5	0	3	4	1	5	1	4

Les énergies de liaison indiquent des discontinuités bien définies pour les noyaux à nombre magique. Ca^{40} est un noyau doublement magique où $Z=20$ et $N=20$. La configuration à 20 protons est évidemment très stable puisque l'addition de 8 neutrons supplémentaires conduit à l'isotope stable Ca^{48}. C'est l'isotope stable le plus léger pour lequel $N-Z$ est aussi grand que 8; le suivant est Ni^{64}, dont le nombre magique est $Z=28$. Les noyaux stables les plus légers pour lesquels $N-Z=3$ et 4, sont respectivement Cl^{37} et S^{36}; pour l'un et l'autre, $N=20$, ce qui montre que la configuration à 20 neutrons est particulièrement stable.

Il est d'autres preuves. Elles peuvent être déduites de configurations telles que l'énergie de liaison du dernier nucléon, l'importance des isotopes dans la Terre, les nombres d'isotopes et d'isotones β instables, les énergies d'excitation des premiers états excités des noyaux, la section de capture neutronique des noyaux, les fluctuations de la valeur des rayons des noyaux donnée par la formule (2). Tout ce qui précède montre l'existence des structures protonique ou neutronique étroitement liées à l'intérieur des noyaux à nombre magique.

MODÈLE DE STRUCTURE CONSTITUÉ PAR DES COUCHES SUCCESSIVES

La manière la plus simple d'expliquer les nombres magiques est d'oublier tout ce que nous savons au sujet de l'interaction des nucléons et de supposer que chaque nucléon se déplace librement à l'intérieur du noyau suivant une orbite autour du barycentre du noyau. Ceci nous fournit le modèle structural du noyau.

Il est utile de rappeler ici le schéma d'assemblage des atomes. Les nombres d'électrons dans les quatre premières couches sont les suivants:

Couche ..	I	II	III	IV	V
Etat ..	1*s*	2*s*, 1*p*	3*s*, 2*p*	4*s*, 1*d*, 3*p*	5*s*, 2*d*, 4*p*
Nombre d'électrons par couche	2	2, 6	2, 6	2, 10, 6	2, 10, 6
Nombre total d'électrons	2	10	18	36	54

Les différents états sont indiqués de la gauche vers la droite dans l'ordre de remplissage, de telle façon que pour un atome donné, l'énergie de liaison des différents états diminue de la gauche vers la droite. Les gaz inertes He, Ne, A, Kr, Xe... se trouvent dans des positions correspondant à des couches complètes comprenant 2, 10, 18, 36, 54... électrons. L'ordre des niveaux dépend de la nature de la force: dans ce cas, c'est une force électrostatique.

Une force électrostatique ne conviendrait pas pour un noyau. Nous supposerons que chaque nucléon se déplace librement sur une orbite sous l'influence de la même attraction dirigée vers le centre du nucléon. On suppose que cette attraction est une moyenne entre les interactions de tous les autres nucléons avec le nucléon en question. Il s'ensuit qu'une force isotrope donnée par la loi de Hooke est une bonne approximation pour cette attraction centrale. Cette loi de force donne une répartition nouvelle des niveaux et nous obtenons le modèle structural suivant pour les neutrons (et évidemment les mêmes couches pour les protons).

Couche ..	I	II	III	IV	V
Etats	1*s*	1*p*	1*d*, 2*s*	1*f*, 2*p*	1*g*, 2*d*, 3*s*
Nombre de neutrons par couche	2	6	12	20	30
Nombre total de neutrons	2	8	20	40	70

Suivant ce schéma, les couches complètes contiennent 2, 8, 20, 40, 70... neutrons; ainsi, bien que les trois premiers nombres magiques soient corrects, le schéma ne l'est plus par la suite. Compte tenu de la force donnée par la loi de Hooke, les états dans chaque couche sont dégénérés, c'est-à-dire que 1*d* et 2*s* correspondent aux mêmes énergies. Une faible correction de la loi de force évite cette dégénérescence, mais il n'est pas possible d'obtenir des nombres magiques corrects supérieurs à 20. La figure 4 montre les résultats pour un puits de potentiel à profil carré.

Mme Goeppert-Mayer, Jensen et d'autres chercheurs ont montré comment un schéma rigoureux pourrait être obtenu si chaque nucléon était soumis non seulement à la force centrale, mais aussi à une force de spin orbital. Cette force aligne le spin du nucléon dans la même direction que son moment angulaire orbital autour du centre de

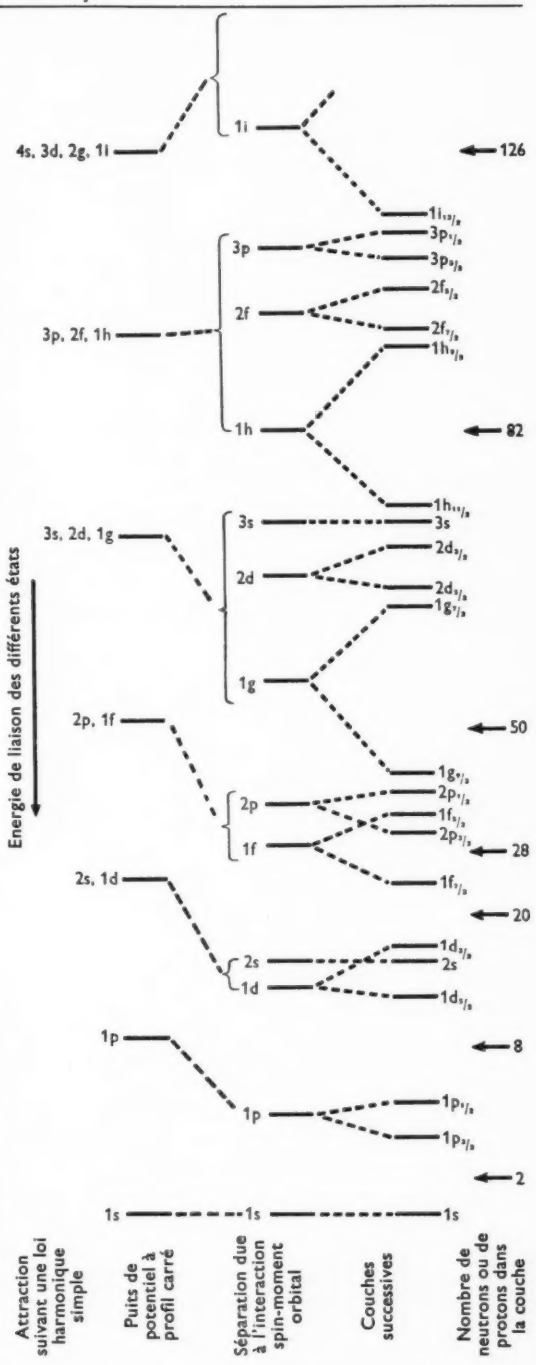


FIGURE 4 – *Niveaux d'energies du nucléon dans le modèle de structure en couches. Les colonnes indiquent respectivement: a) les niveaux dus à une attraction suivant la loi de Hooke, b) les niveaux dus à un puits de profil carré, c) la séparation spin-mouvement orbital.*

masse du noyau. Nous connaissons l'existence de cette force de spin orbital par suite de la polarisation des protons et neutrons lorsqu'ils sont diffusés par les noyaux: la diffusion produit un alignement de leurs spins. Ce schéma fournit un modèle structural correct (comparer avec la figure 4):

Couche ..	I	II	III	IV
Etat	$1s$	$1p_{3/2}$, $1p_{1/2}$	$1d_{5/2}$, $2s$, $1d_{3/2}$	$1f_{7/2}$
Nombre de neutrons par couche	2	4, 2	6, 2, 4	8
Nombre total de neutrons	2	8	20	28

Couche ..	V	VI
Etat	$2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$, $2p_{1/2}$, $1g_{9/2}$	$1g_{7/2}$, $2d_{5/2}$, $2d_{3/2}$, $3s$, $1h_{11/2}$
Nombre de neutrons par couche	4, 6, 2, 10	8, 6, 4, 2, 12
Nombre total de neutrons	50	82

Les indices tels que 3/2 dans $1p_{3/2}$ indiquent le moment angulaire total du nucléon; ainsi $p_{3/2}$ et $p_{1/2}$ sont des états p pour lesquels le spin et le moment angulaire orbital sont respectivement parallèle et antiparallèle. Les interactions spin-moment orbital augmentent avec le moment angulaire orbital. Ainsi, le niveau $1p$ se sépare en $1p_{3/2}$ et $1p_{1/2}$, niveaux suffisamment voisins du point de vue énergétique pour constituer une couche. De la même façon, $1d_{5/2}$ et $1d_{3/2}$ forment une couche avec $2s$. Cependant $1f_{7/2}$ s'abaisse suffisamment pour constituer une nouvelle couche et $1g_{9/2}$ est assez bas pour rejoindre la couche $2p_{3/2}$, $1f_{5/2}$, $2p_{1/2}$. Ce schéma conduit aux nombres magiques jusqu'à 126 compris.

Bon nombre de déductions importantes et simples peuvent être faites à partir du modèle structural. Prenons seulement un exemple. Pour le noyau B^{11}, on a $Z=5$, $N=6$. Par conséquent, ses neutrons remplissent tous les états $1s$ et $1p_{3/2}$, tandis que ses protons remplissent les mêmes états sauf l'état $1p_{3/2}$. Donc le noyau B^{11} devrait avoir un spin $=3/2$ et une parité négative, ce qui est le cas. De la même façon, les spins des noyaux C^{13}, N^{15}, et O^{17} devraient être respectivement

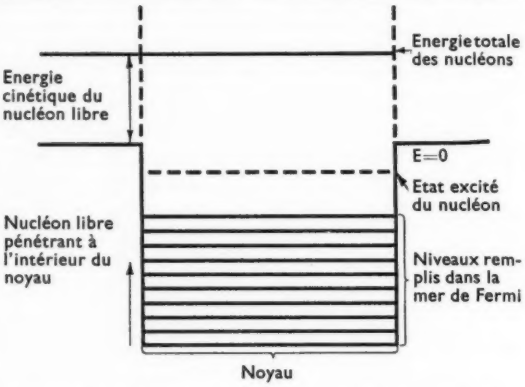


FIGURE 5 – *La «mer» de Fermi des niveaux remplis à particule simple d'un noyau et d'un nucléon rencontrant le noyau.*

1/2, 1/2 et 5/2; l'expérience montre qu'il en est ainsi. Un grand nombre d'autres conséquences plus complexes du modèle structural ont été vérifiées.

BASES PHYSIQUES DU MODÈLE STRUCTURAL

Ce qui surprend le plus dans le modèle structural c'est qu'il ait un sens. A l'intérieur du noyau les nucléons ne peuvent se déplacer sur des orbites comme les électrons dans un atome, sans collisions fréquentes avec les autres nucléons. On peut s'attendre à ce que les nucléons se trouvent projetés hors de leurs orbites lorsque de telles collisions se produisent.

Pour que les états $1s$, $1p_{3/2}$,... du modèle structural soient à peu près définis, il est essentiel que les nucléons puissent parcourir au moins plusieurs orbites avant d'en être expulsés. Nous sommes maintenant en présence du paradoxe suivant: à l'intérieur du noyau, les nucléons possèdent des énergies cinétiques de 20 à 30 MeV; on sait que lorsqu'un nucléon d'énergie cinétique de 20 ou 30 MeV est dirigé vers l'intérieur d'un noyau, il est arrêté au bout d'un libre parcours moyen très court, de l'ordre de 10^{-13} cm. En effet, Niels Bohr utilise cette hypothèse comme base de son schéma composé du noyau en supposant que le nucléon incident partage presque immédiatement toute son énergie cinétique avec tous les nucléons du noyau. Il est par conséquent difficile de voir comment les états peuvent exister dans des structures en couches.

Le principe d'exclusion de Pauli permet un premier pas vers la résolution de ce paradoxe. Chaque état du noyau peut contenir au plus deux neutrons et deux protons, et dans un noyau non excité tous les états inférieurs seront remplis. Cette forme est appelée «mer» de Fermi (figure 5).

Si deux nucléons du noyau entrent en collision, ils ne peuvent se diffuser mutuellement vers un état quelconque de la mer de Fermi, puisque les autres états sont déjà saturés. Par conséquent, l'interaction nucléon-nucléon produit beaucoup moins de diffusion entre deux nucléons internes du noyau qu'entre deux nucléons libres. Dans le cas envisagé dans le modèle à noyau composé, le premier état est celui d'une collision entre un nucléon incident et un nucléon de la mer de Fermi, ce qui conduit à un état situé au-dessus de la mer: le principe de Pauli permet cet état, aussi l'interaction se produit à pleine puissance.

De cette manière, on voit comment concilier la structure en couches et l'interaction forte nucléon-nucléon. Pour relier ces deux concepts il est nécessaire de faire intervenir la théorie à plusieurs corps de Brueckner déjà citée.

Deux difficultés subsistent néanmoins pour le physicien:

1) Quelques-unes des prévisions les plus valables relatives au modèle de structure se rapportent à des particules qui se trouvent à des niveaux juste au-dessous du maximum de la mer de Fermi, par exemple l'énergie de liaison du dernier nucléon et le spin des noyaux. Le principe d'exclusion est beaucoup moins puissant pour ces états, dans l'hypothèse d'une réduction des effets indésirables de l'interaction nucléon-nucléon, qu'il ne l'est pour les états situés en dessous du niveau de la mer de Fermi.
2) Ce que nous avons dit au sujet de l'application du principe d'exclusion est réellement applicable aux effets d'attraction à longue distance dans l'interaction nucléon-nucléon. L'interaction aux courtes distances conduit de temps en temps à une diffusion des nucléons dans la mer de Fermi. Le transfert des moments est alors important et les deux nucléons se trouvent définitivement dans des états situés au-dessus du niveau de la mer de Fermi. Il nous reste à comprendre pourquoi de telles collisions ne sont pas importantes dans les gros noyaux.

BIBLIOGRAPHIE

HULTHÉN, L. et SUGAWARA, M. «The Two-Nucleon Problem» dans «Encyclopedia of Physics», Vol. XXXIX, pp. 1–143. Springer, Berlin. 1957.
ELLIOTT, J. P. et LANE, A. M. «The Nuclear Shell Model», *ibid.*, pp. 241–410.
WEISSKOPF, V. F. *Science*, **113**, 101, 1951.
BRUECKNER, K. A. «The Theory of Nuclear Structure» dans «The Many-Body Problem». Methuen, Londres. 1958.
HUGENHOLTZ, N. M. et VAN HOVE, L. *Physica*, 24, 363, 1958.

Revue des livres

ASTROPHYSIQUE

PECKER, J. C. et SCHATZMAN, E.: *Astrophysique générale*. Pp. x+756. Masson et Cie., Paris. 1959. 130 NF.

L'astrophysique s'est développée et diversifiée très rapidement ces dernières dizaines d'années. On obtient constamment de nouveaux résultats demandant la révision d'idées acceptées provisoirement. La théorie est en changement continuel et la littérature sur le sujet, à part les articles scientifiques, se compose d'œuvres de vulgarisation pour la plupart et de traités et de monographies spécialisés sur des aspects secondaires. Il n'existe pas de manuel complet d'astrophysique à l'usage des étudiants de physique, mathématiques et astronomie. De nombreuses découvertes en astrophysique ont précédé, ou engendré, d'importantes découvertes physiques telles que l'existence des naines blanches, la dégénérescence de la matière, les spectres d'éléments fortement ionisés, les réactions thermonucléaires et la magnéto-hydrodynamique.

Les auteurs ont mené à bien la tâche difficile de préparer un manuel poussé et font un exposé satisfaisant des progrès pratiques et théoriques réalisés jusqu'à une date récente. Certaines parties sont forcément très mathématiques et les auteurs ont bien fait de réunir dans un index les notations employées. Dans beaucoup d'ouvrages, on perd du temps à chercher dans le texte des définitions de symboles.

L'ouvrage est divisé en 5 parties renfermant chacune plusieurs chapitres. La première récapitule les notions fondamentales de physique nécessaires. Puis vient une section sur les instruments et méthodes d'observation. La troisième partie traite des propriétés intrinsèques des étoiles et de leur détermination, avec des chapitres sur les étoiles doubles, les étoiles variables, et leur structure interne. Les systèmes d'étoiles sont traités dans la 4e partie qui étudie aussi les groupements galactiques et globulaires, les associations stellaires, la structure de la galaxie, la matière interstellaire, l'évolution des étoiles et les systèmes extra-galactiques. Contrairement à l'usage courant, le Soleil et son système occupent la dernière place, mais il est traité comme étoile typique de la classe G2; la structure interne des planètes et la perte de leur atmosphère sont aussi étudiées.

Il y a un excellent index de sujets et d'auteurs et le volume mérite toutes nos recommandations en tant que manuel de valeur et ouvrage de référence utile.

H. SPENCER JONES

PHYSIQUE

MARTON, L., publié par: *Methods of Experimental Physics*; Vol. I, *Classical Methods*, publié par I. Estermann. Pp. XII + 596. Academic Press Inc., New-York. 1959. $12,80.

Ce volume est le premier d'une série qui, selon l'avant-propos, «fera un exposé concis et bien illustré des méthodes ou principes généraux essentiels, nécessaires à l'expérimentateur, tout en signalant les lectures fondamentales plus poussées.» Il est divisé en 9 sections traitant de l'évaluation de la mesure, des unités et constantes fondamentales, de la mécanique des solides, de celle des fluides, du son et des vibrations, de la chaleur et de la thermodynamique, de l'optique, de l'électricité et du magnétisme, divisions habituelles de la physique classique. Mais en dépit de cette richesse d'information, on note un certain nombre de défauts sérieux. La description des méthodes et techniques qui figurent dans beaucoup de manuels de physique courants occupe bien trop de place. Par contre, les techniques nouvelles dispersées dans les revues scientifiques et dont l'étude critique pourrait rendre grand service sont traitées très sommairement et, dans beaucoup de cas, de façon nettement insuffisante. Ni les articles-clé, ni les revues d'autorité parues récemment dans les publications scientifiques sur plusieurs points importants de la mesure, ne sont cités. On s'étonne de trouver 25 pages sur la thermodynamique alors que les techniques de la frange moirée appliquées aux mesures linéaires et angulaires ne figurent même pas.

G. B. B. M. SUTHERLAND

KINGERY, W. D.: *Property Measurements at High Temperatures*. Pp. XII + 416. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1959. 132s.

L'importance croissante des machines et des procédés de manufacture à haute température a causé un besoin sans précédent de matériaux spéciaux et de connaissances sur les propriétés des corps à ces températures élevées. L'ouvrage traite de la mesure des températures, des fours, du transfert de chaleur, de la mesure de la densité, de la dilatation thermique, des propriétés électriques et magnétiques, de la calorimétrie et des équilibres de phases. Il y a aussi une brève étude de la thermodynamique chimique et des mesures cinétiques aux températures élevées. L'auteur traite avec clarté et autorité de ces sujets divers.

Chaque chapitre débute par l'exposé rapide des principes fondamentaux de la propriété étudiée, mémento très utile mais insuffisant pour le débutant. On trouve ensuite la description minutieuse des méthodes expérimentales de mesure de la propriété. Les nombreux diagrammes d'appareils sont particulièrement clairs; il y a un bon index et le volume sera bien accueilli de ceux dont les travaux portent, d'une façon ou d'une autre, sur les températures supérieures à 1 400°.

G. PORTER

KLEMPERER, O.: *Electron Physics — the Physics of the Free Electron*. Pp. XI + 248. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., New-York. 1959. 32s. 6d.

Ce petit livre provient de plusieurs séries de cours donnés par l'auteur sur la physique électronique. Il couvre un terrain sensiblement plus vaste que ne le suggère le sous-titre «Physique de l'électron libre», étudiant des questions telles que le théorème de Larmor, le paramagnétisme et l'effet Zeeman qui sont essentiellement des propriétés des électrons liés. Il se limite pourtant dans l'ensemble au domaine fixé. Après l'introduction historique, on trouve la description des mouvements d'électrons en combinaison dans les champs électriques et magnétiques, sujet qui conduit naturellement à l'optique électronique et aux propriétés caractéristiques des tubes électroniques simples, avec mention particulière des effets de charge spatiale. Les effets de bruit et de fluctuation sont simplement mais suffisamment traités. Un chapitre est consacré aux méthodes de détection des électrons.

La seconde partie du volume s'occupe des aspects plus fondamentaux, physiquement parlant, des électrons. Il y a des chapitres sur les méthodes de détermination de la charge électrique et sur le rapport charge/masse, sur la dynamique relativiste de ces particules, sur leur nature ondulatoire et sur le spin et propriétés apparentées.

On pourra critiquer la documentation d'un certain nombre de chapitres vers la fin du livre, comme l'étude de la masse électromagnétique et la description de la résonance magnétique. Considéré comme guide sur le sujet, le livre rendra cependant grand service, surtout aux étudiants de physique et d'électricité.

M. H. L. PRYCE

CHIMIE

MYSELS, Karol J.: *Introduction to Colloid Chemistry*. Pp. XV + 475. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 75s.

Le Professeur Mysels est un professeur et expérimentateur distingué de la chimie des colloïdes et ses travaux sont toujours originaux. Ce livre ne décevra pas non plus. Les manuels sur la question se divisent en deux groupes: ceux qui sont d'avis qu'elle comprend les domaines préparatifs et descriptifs associés au nom des pionniers tels que van Bemmelen, ou ceux qui font de l'interphase avec ses propriétés le concept fondamental du sujet. Freundlich présenta cette opinion pour la première fois avec grande clarté et des chimistes d'autorité tels que Irving Langmuir et N. K. Adam l'adoptèrent par la suite.

Le Dr Mysels a centré son étude sur le concept de «particule», car la chimie des colloïdes est essentiellement l'étude physico-chimique de celles-ci. Cette méthode d'approche a certains avantages car elle permet au lecteur versé dans la chimie physique des petites molécules d'apprécier pleinement les parties du livre donnant les rudiments de l'étude des propriétés colligatives, de la diffusion et de la sédimentation. Les intéressantes et importantes propriétés des interfaces, par contre, sont à peine traitées. Willard Gibbs, toujours cité dans un texte sur la question, ne figure pas. L'ouvrage fait cependant un exposé très satisfaisant de l'état colloïde qui comprend les polymères, à l'encontre des partisans dévoués de l'école de Freundlich. Le style est limpide et les diagrammes explicatifs sont excellents.

ERIC K. RIDEAL

HAIS, I. M. et MACEK, K., publié par: *Handbuch der Papierchromatographie*. Vol. I, *Grundlagen und Technik*. Pp. XXIV + 860. Gustav Fischer Verlag, Iéna. 1958. DM 58,40.

Ce volume est le premier d'un traité approfondi de chromatographie sur papier, œuvre de deux savants tchèques distingués. Afin de produire un tout cohérent, les chapitres ont été écrits par les auteurs principaux, seuls ou en collaboration avec quelques autres. Hais, par exemple, fait suivre son introduction historique du sujet d'un chapitre sur le fondement pratique et théorique de la chromatographie où deux collègues ont collaboré.

Dans la partie expérimentale, la désionisation des solutions, l'application

d'essai et le choix de papier sont traités en premier lieu. Les caractéristiques physiques des papiers produits par les grands fabricants sont décrites et on peut faire la comparaison photographique de la séparation de mélanges identiques d'amino-acides par les papiers en question.

Les propriétés des solvants organiques courants sont bien traitées et les méthodes d'identification de groupes structurels par le comportement chromatographique sont esquissées. Il y a malheureusement peu de chose sur les interactions moléculaires en solution, mais c'est un défaut commun à tous les ouvrages de chromatographie. Les auteurs donnent cependant la liste de 10 solvants, simples ou mélangés, dont l'emploi systématique permettra de mettre au point une méthode convenant aux mélanges jusqu'ici non résolus.

La question des appareils est brièvement traitée et suivie d'une utile discussion des facteurs dont dépendent la forme de la zone et la valeur R_f. Les chapitres suivants s'occupent de la détection, de l'estimation quantitative des substances radioactives et des procédés spéciaux nécessaires. Ces diverses sections d'intérêt général occupent un tiers de l'ouvrage environ; le reste est consacré à des groupes de corps particuliers (et à leurs dérivés) allant de l'alcool aux colorants synthétiques et aux minéraux. Le supplément renferme des précisions sur les réactifs qu'on pulvérise ou qu'on trempe, l'imprégnation du papier et des indications spécifiques sur la préparation des dérivés.

La bibliographie allant jusqu'en 1956, les index détaillées de sujets et d'auteurs rendront cet ouvrage de référence indispensable à tous les laboratoires employant la chromatographie sur papier. A. T. JAMES

HARDIE, D. W. F.: *Electrolytic Manufacture of Chemicals from Salts*. Pp. XII + 74. Edité pour Imperial Chemical Industries Ltd., Londres, par Oxford University Press, Londres. 1959. 7s. 6d.

Ce volume est le troisième d'une série de manuels publiés sous les auspices des *Imperial Chemical Industries* pour faire le pont entre la chimie scolaire et celle de l'industrie. Comme l'indique la préface, les phénomènes électrolytiques prenant le sel comme point de départ se prêtent particulièrement bien à ce projet. Les fondements physico-chimiques sur lesquels ils reposent sont intéressants en eux-mêmes et pourtant accessibles à l'élève intelligent des grandes classes. De plus, ils sont en rapport évident avec les besoins en énergie et avec l'économie générale de l'industrie.

Les notions électrochimiques de potentiel de décomposition et de rendement de courant sont bien expliquées et les divers composants de la force électromotrice sont très clairement indiqués; on s'étonne de voir quel fort pourcentage de cette force est nécessaire, dans la pile à sodium de Downs, pour surmonter simplement la résistance des raccords électriques. On aurait, cependant, aimé trouver dans le texte, et non en note au bas de la page, la distinction entre chaleur et énergie libre de formation.

Un des chapitres suivants décrit assez en détail la pile à mercure, ainsi que deux types différents de pile à diaphragme et la pile à sodium de Downs. On trouve ensuite les propriétés physiques et emplois des divers produits, leur empaquetage et transport, statistique de fabrication et développement historique des procédés. Deux suppléments: l'un sur l'évolution chronologique de l'industrie et l'autre, sous forme de glossaire de termes techniques, complètent l'ouvrage. Nous recommandons vivement le volume aux bibliothèques scolaires et universitaires. P. SPICE

CRISTALLOGRAPHIE

KASPER, John S. et LONSDALE, Kathleen, publié par: *International Tables for X-ray Crystallography*, Vol. II, *Mathematical Tables*. Pp. XVIII + 444. Edité pour l'Union Internationale de Cristallographie par The Kynoch Press, Birmingham. 1959. 115s.

Les cristallographes seront reconnaissants à un groupe d'auteurs distingués pour cette nouvelle aide indispensable. Le volume II des *International Tables* ne donne que des renseignements mathématiques. Les formules, tables de fonctions et diagrammes nécessaires aux divers stades de la détermination de la structure cristalline sont donnés sous forme pratique.

Un chapitre spécial résume les techniques mathématiques d'intérêt spécial dans l'analyse de la structure cristalline aux rayons X. Tous les spécialistes du sujet auront besoin de cet aide-mémoire méthodique sur des points étudiés autrefois mais en partie oubliés.

Les sections principales ont trait à la géométrie des cristaux, à celle de la diffraction, à la physique des méthodes de diffraction, à la théorie de Fourier avec mention spéciale des transformes de Fourier et aux facteurs de structure. L'ouvrage est soigneusement annoté tout au long. La présentation est d'aussi bonne qualité qu'au volume I.

Le termes d'un ouvrage courant doivent être choisis avec soin. C'est ici le cas de façon générale, mais il y a des passages qu'un style plus simple aurait rendus plus clairs. H. M. POWELL

BIOLOGIE

FRITZ-NIGGLI, H.: *Strahlenbiologie. Grundlagen und Ergebnisse*. Pp. XVI + 380. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 1959. DM 65.

La radio-biologie, comme la recherche sur le cancer, comprend des sujets innombrables et il est difficile de la traiter dans son ensemble; le Professeur Fritz-Niggli a cependant abordé la tâche avec courage et succès. L'ouvrage se divise en sections consacrées à la physique, la chimie, la biochimie, la génétique; aux cellules et particules des cellules, aux embryons etc.; au cancer de regénération, à la pathologie et à la mort; à la maladie, à la prophylaxie, à la thérapeutique et à diverses théories. Comme l'indique le titre, les parties purement biologiques, telles que la génétique, font l'objet de l'étude la plus longue et la plus poussée; mais on aurait aimé un peu plus de détails sur la prophylaxie, par exemple. Quelques mesures d'efficacité dans le tableau d'agents de protection aideraient aussi à ramener à ses justes proportions la réclame excessive qui entoure certains d'entre eux. La plupart des nombreux tableaux, diagrammes et illustrations sont instructifs et agréables à regarder et peu de points intéressants ont échappé à l'attention de l'auteur. J. ST. L. PHILPOT

ATKINS, H. J. B., publié par: *Tools of Biological Research*. Pp. XVI + 183. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1959. 37s. 6d.

Les méthodes spéciales de recherche biologique décrites ici furent présentées pour la première fois à une conférence tenue à *Guy's Hospital* en octobre 1958 sous la direction de H. J. B. Atkins représentant la *Surgical Research Society*. Après l'introduction du Président de la *Royal Society* et un article sur la conduite des expériences, on trouve neuf brefs comptes rendus de techniques dont

deux sont de nature biologique: la culture et la transplantation des tissus. Les autres sont physiques: photométrie à flamme, électromanométrie, microscopie électronique, microscopie à phase et interférence, électrophorèse, intensification des images radioscopiques et spectrométrie de masse. Tous sont l'œuvre d'expérimentateurs exercés, sont bien illustrés et sont accompagnés de listes d'articles à consulter. Ils ont presque tous de 10 à 15 pages et se limitent forcément à donner les principes d'opération et à esquisser les applications. L'article sur le microscope électronique fait exception avec ses 50 pages qui font un exposé aussi clair et concis que possible sur presque tous les aspects du sujet.

V. E. COSSLETT

BOTANIQUE

STEWARD, F. C., publié par: *Plant Physiology*, Vol. II, *Plants in Relation to Water and Solutes*. Pp. XVII + 758. Academic Press Inc., New-York. 1959. $22.

Les botanistes savent bien depuis 30 ou 40 ans que les branches principales de leur science sont maintenant trop vastes et trop variées pour être traitées par un seul auteur avec suffisamment de détail. Les «progrès récents», traités et encyclopédies de plusieurs ou de nombreux volumes sont donc à la mode. Chaque volume est en général l'œuvre d'un certain nombre de spécialistes et le degré de coordination parfois inégal. Dans le secteur très actif de la botanique décrit ici, les difficultés de rythme et même de goût s'ajoutent à celles de place: très peu de problèmes de physiologie végétale ont une solution universellement acceptée à l'heure actuelle. Trois des chapitres indépendamment écrits de ce volume ont l'occasion d'étudier la perméabilité relative des couches intérieures et extérieures du protoplasme végétal. Le premier «favorise l'opinion classique» selon laquelle les deux membranes ont une perméabilité comparable envers les solutés, tandis que le second accepte l'idée que la membrane interne constitue une barrière beaucoup plus imperméable. Le troisième ne révèle pas l'opinion personnelle de l'auteur sur ce point.

W. O. JAMES

MÉDECINE

NEUBAUER, O.: *Bibliography of Cancer produced by Pure Chemical Compounds — A Survey of the Literature up to and including* 1947. Pp. XXVII + 604. Clarendon Press; Oxford University Press, Londres. 1959. 42s.

Le livre repose sur 5 000 articles parus jusqu'en 1947 sur le sujet des carcinogènes chimiques; pour obtenir les noms d'auteurs et les titres d'articles près de 500 revues ont dû être parcourues et le sujet exploré à fond. Une fois en possession de cette documentation, le problème était d'en faire une encyclopédie cohérente et non un simple catalogue; pour cela, il fallait classer les 5 000 articles par ordre alphabétique d'auteurs donnant l'auteur, la date, le titre complet de l'article et un numéro de référence. Ce glossaire forme la première partie du volume. La seconde, de beaucoup la plus difficile à composer, divise les articles en catégories d'après leur sujet comme, par exemple, propriétés chimiques des carcinogènes, propriétés physiques, mode d'administration, effet local sur la peau, les organes internes ou les tissus éloignés, métabolisme, effets génétiques ou d'immunité. Il y a 32 catégories en tout. Ces 32 groupes sont encore subdivisés, pour ainsi dire, sur un autre plan en carcinogènes appartenant à la classe des polycycliques, des composés azoïques, des stérols et autres ordres de constitution chimique. Dans chaque sous-groupe, les sections appropriées des 5 000 articles sont encore reclassées par ordre chronologique et l'auteur a poussé la condensation au maximum en utilisant un résumé de deux mots seulement.

La bibliographie rendra grand service à ceux qui connaissent déjà le sujet et ont besoin d'un système de référence commode, basé sur les noms d'auteurs et donnant les titres, dates et précisions sur la revue.

I. HIEGER

ART VÉTÉRINAIRE

Research in Veterinary Science, Vol. I, No. 1, Janvier 1960. Pp. IV + 93 + X. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Trimestriel, 25s. Abonnement à l'année, 90s.

La publication du premier numéro de cette revue est une étape importante dans la littérature sur le sujet. Le Président de la *British Veterinary Association* explique dans l'avant-propos le but qu'elle s'est fixé et le premier numéro augure bien de son succès. Les articles présentés traitent d'une grande variété d'animaux: volaille, bétail, porcs et chiens et rendront d'immenses services aux chercheurs de disciplines variées.

L'excellence de la publication ne surprend pas quand on considère la composition du comité de rédaction. Le style clair et coulant et la qualité des diagrammes, photographies et microphotographies méritent toutes nos félicitations. La bibliographie qui termine chaque article est bien choisie et suffisante sans être trop poussée.

H. BURROW

HISTOIRE DES SCIENCES

TURNBULL, H. W., publié par: *The Correspondence of Isaac Newton*, Vol. I, 1661–1675. Pp. XXXVIII + 468. Cambridge, imprimé pour la Royal Society à l'University Press, Londres. 1959. 147s.

On déplore depuis longtemps l'absence d'une édition uniforme et critique de l'ensemble de l'œuvre de Newton. Les tentatives dans ce but n'ont jamais abouti, en raison sans doute de la masse et de la complexité énormes de l'héritage littéraire de Newton, qui avec les manuscrits de chimie et de théologie se montent à quelque trois millions et demi de mots.

En 1939, la *Royal Society* persuada le regretté Professeur H. C. Plummer d'attaquer la tâche moins redoutable de publier la correspondance du savant et l'entreprise démarra. Mais, à sa mort en 1947, le travail passa au Professeur H. W. Turnbull, qui a fait des additions substantielles aux trois premiers volumes de la série et a cherché à donner *in extenso* toutes les lettres écrites par Newton ou qui lui ont été adressées, ainsi que des extraits de ses notes personnelles et de lettres contemporaines ayant trait à ses travaux.

Ce premier volume, précédé d'une introduction érudite du Professeur Andrade, est particulièrement intéressant car il comprend la découverte de la nature composite de la lumière solaire, la construction du télescope à miroir, les premières expériences sur les fluxions et les quadratures et donne même un avant-goût de la mécanique céleste. Les textes latins sont traduits en anglais et les points techniques ou historiques demandant à être éclaircis sont minutieusement traités dans les notes qui accompagnent le texte. Intérêt scientifique à part, ces lettres illuminent le caractère de Newton et ses rapports avec les savants de son temps.

Ce volume magnifique commémore dignement le tricentenaire de la *Royal Society* et ceux qui s'intéressent à Newton et à son époque attendront les suivants avec impatience.

A. ARMITAGE

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

LEWIS, J. et WILKINS, R. G., publié par: *Modern Coordination Chemistry*. Pp. XVI + 487. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1960. 80s.

Ce livre porte sur les méthodes physiques employées dans la chimie des groupes coordonnés et sur leurs principes de base. Les questions traitées comprennent: vitesses de réaction des complexes métalliques intermédiaires, isomères de composés complexes, spectroscopie visible et à l'ultra-violet de ces corps, aspects magnéto-chimiques.

International Conference on Coordination Chemistry. Pp. 204. The Chemical Society, Londres. 1959. 42s.

Les conférences données à la réunion internationale de Londres d'avril 1959 sont publiées ici avec le sommaire des articles présentés. On note, parmi les questions traitées: stabilité des complexes métalliques, mécanisme des réactions complexe-ions, liaisons métal-groupement et acétylures complexes des métaux intermédiaires.

PASCAL, P., publié par: *Nouveau traité de chimie minérale*, Vol. VIII. Pp. XL + 944. Masson et Cie., Paris. 1959. Broché, 95 NF; relié, 107 NF.

Bien que le volume porte surtout sur les complexes du fer, du cobalt et du nickel, le chapitre de Cl. Duval sur les complexes du fer traite aussi des sels du métal. Les carbonyles et nitrosyles du fer sont étudiés également par A. Michel, les complexes et carbonyles du cobalt par P. Job et J. Amiel, respectivement et ceux du nickel par Madame Cl. Duval et P. Pascal.

KATRITZSKY, A. R. et LAGOWSKI, J. M.: *Heterocyclic Chemistry*. Pp. 274. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New York. 1960. 21s.

Les auteurs essaient ici de présenter la chimie des composés hétérocycliques en fonction de la théorie électronique pour rendre service à l'étudiant avancé et au chercheur débutant. Le volume passe en revue l'ensemble de la chimie fondamentale de ces corps et insiste sur les rapports entre les méthodes de préparation et les propriétés des diverses formations cycliques.

MATHIEU, J. et ALLAIS, A.: *Cahiers de synthèse organique*, Vol. V. Pp. 394. Masson et Cie., Paris, 1959. Broché, 78 NF; relié, 85 NF.

Le volume V de l'œuvre — qui doit en compter sept — porte sur les réactions de dégradation. Les auteurs ne les considèrent pas comme méthodes de détermination de la structure de composés mais comme compléments des méthodes synthétiques de préparation. Le livre est divisé en deux parties dont l'une traite des réactions où disparaît un groupe renfermant du carbone et l'autre de celles où se produit la rupture d'une chaîne carbonée ou l'ouverture d'un cycle. L'œuvre complète doit servir de guide aux organiciens quant aux méthodes de préparation.

WILSON, A. J. C., publié par: *Structure Reports for* 1952, Vol. XVI. Pp. VIII + 651. Publié pour l'Union Internationale de Cristallographie par A. Oosthoek's Uitgevers Mij., Utrecht. 1959. Fl. 120.

Ce volume se propose de reprendre tout ce qui concerne la structure dans un article paru, tout en résumant brièvement, sans plus, le reste du contenu. Il est divisé en trois sections consacrées respectivement aux métaux (sous la direction de N. C. Baenziger), aux composés minéraux (J. Wyart) et organiques (J. Monteath Robertson). Il y a une série complète d'index permettant de trouver facilement ce qui concerne un corps voulu.

DAWSON, R. M. C., ELLIOTT, D. C., ELLIOTT, W. H. et JONES, K. M., publié par: *Data for Biochemical Research*. Pp. XIII + 299. Clarendon Press, Oxford. 1959. 63s.

Ce livre cherche à renseigner sur les composés, réactifs et techniques employés par les biochimistes dans leurs travaux courants. Pour réduire l'ouvrage au minimum, les chefs de publication ont décidé de ne donner que les faits utiles au laboratoire. Les questions traitées comptent les composés biochimiques, les tampons et milieux physiologiques, les résines à échange d'ions, les isotopes et la manométrie. La bibliographie permettra de faire des lectures plus poussées.

RUDNICK, D., publié par: *Cell Organism and Milieu*. Pp. V + 326. The Ronald Press Co., New-York. 1959. $8.

La 17e conférence de la *Society for the Study of Development and Growth* a choisi pour thème la différenciation et la croissance en fonction du milieu chimique. Parmi les apports publiés ici, il y a des articles sur le rôle des structures cellulaires dans les mouvements de la cellule, la chimie et la physiologie des hormones de croissance des insectes, les modifications expérimentales du développement de la racine et les aspects physiologiques et biochimiques du blastocyste des mammifères.

READ, J.: *Radiation Biology of* Vicia Faba *in Relation to the General Problem*. Pp. XXII + 270. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford. 1949. 45s.

Les biologistes spécialistes des radiations connaissent probablement mieux l'effet des radiations ionisantes sur la racine de la fève *Vicia faba* que sur aucun autre matériau vivant. Cette documentation est présentée de façon à servir d'introduction à l'ensemble du sujet. L'auteur s'efforce d'expliquer et d'établir les dégâts les plus importants subis par les cellules de la racine et d'estimer dans quelle mesure les conclusions tirées de l'étude de la fève s'appliquent aux tissus animaux et humains en général.

LESTER SMITH, E.: *Vitamin* B_{12}. Pp. XII + 196. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1960. 15s.

Ce livre rédigé à l'intention du biochimiste décrit les travaux qui aboutirent à l'isolement de la vitamine B_{12} et donne ses caractéristiques chimiques, son rôle dans la nutrition humaine et animale et le mécanisme de son action. L'origine et la répartition de la vitamine ainsi que son dosage sont aussi étudiés.

Notes biographiques sur les collaborateurs

W. L. BARGMANN,
Dr. Med.,

Naquit à Nuremberg en 1906 et devint en 1935 membre du personnel de l'Université de Zurich. Il fut nommé par la suite prosecteur et directeur de département aux Universités de Leipzig et de Kœnigsberg. Après la guerre, il alla à Gœttingue et dirige depuis 1946 le département d'anatomie de l'Université de Kiel. Il a étudié de nombreux problèmes histologiques et micro-anatomiques, surtout dans le domaine endocrinologique et neuro-histologique. Il a fait aussi paraître des études sur l'Anatomie et les Beaux-Arts, Goethe, la Morphologie, ainsi qu'un manuel d'histologie. Il dirige la publication de *Zeitschrift für Zellforschung und mikroskopische Anatomie* (avec J. Seiler), du *Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen* et de *Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der normalen und pathologischen Anatomie* (avec W. Doerr).

N. L. PADDOCK,
B.A.,

Né à Bristol en 1918, étudia à *Emmanuel College*, Cambridge. Après une période de recherches à Cambridge, il entra chez Albright and Wilson Ltd. à Oldbury, où il dirige actuellement la Section de Chimie physique du service de recherches. Il s'intéresse surtout aux méthodes physiques et théoriques de la chimie minérale et à l'emploi de la chimie physique dans les questions de technique chimique.

H. PETTERSSON,
For. Mem. R.S.

Né en 1888. Etudia la physique et la chimie sous la direction de K. Ångström à Uppsala et de Sir William Ramsay à Londres. Il devint Chargé de cours d'océanographie à Gœteborg en 1914 et Professeur en 1930. Il dirige l'Institut d'Océanographie de cette université depuis sa fondation en 1939. Il commanda l'expédition suédoise de circumnavigation en mer profonde en 1947–48 à bord de l'*Albatross*. Il a fait des recherches de physique et d'océanographie et inventé divers instruments, dont une microbalance à suspension par fibre de quartz (1914).

W. WILLIAMS,
M.Sc.,

Est né dans le Cardiganshire en 1920 et a fait ses études à l'Université du Pays de Galles. De 1942 à 1950 il fit des recherches sur la génétique et la multiplication des plantes d'herbages et des légumineuses à la *Welsh Plant Breeding Station*. En 1950 il fut nommé maître de conférences de Botanique Agricole à *King's College*, Newcastle-upon-Tyne, à l'Université de Durham. Il dirige depuis 1955 le Département de Reproduction végétale au *John Innes Institute*, à Bayfordbury dans le Hertfordshire. Ses travaux de recherche portent sur les systèmes d'incompatibilité chez les végétaux, la résistance aux maladies et l'héritage de caractères quantitatifs.

A. G. BROWN,

Naquit à Montrose en 1910. Fait partie depuis 25 ans du personnel du *John Innes Institute*. A pris part avec M. B. Crane aux travaux sur la pollination des espèces à fruits qui permirent de grands progrès dans l'établissement des vergers commerciaux. On lui doit l'existence de plusieurs variétés nouvelles d'arbres fruitiers et il s'occupe en ce moment de mettre au point des variétés de pommes résistantes à la maladie.

D. A. PARRY,
Ph.D.,

Etudia la zoologie aux Universités de Bristol et de Cambridge. Après la guerre, il prit part à une expédition de pêche à la baleine dans l'Antarctique pour le compte du *Discovery Committee*. Il étudia pendant trois ans les problèmes mécaniques des cétacés et il s'intéresse depuis 1950 à ceux des arthropodes terrestres, les araignées en particulier. Il est Maître de conférences de zoologie à l'Université de Cambridge et directeur d'études et Fellow de *King's College*.

J. HAMILTON,
B.A., Ph.D.,

Naquit en 1918 à Sligo, en Irlande et fit ses études à la *Royal Academical Institution* de Belfast, aux Universités de Belfast et de Manchester et à l'*Institute for Advanced Studies* de Dublin. Il fit des travaux pendant la guerre en Angleterre et en Asie sud-orientale sur les opérations navales. De 1948 à 1949 il fut Maître de conférences de physique théorique à l'Université de Manchester. Il enseigne actuellement les mathématiques à Cambridge, où il est Fellow de *Christ's College*.